

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

**Návrh úpravy zařízení pro kombinované spalování
uhlí a alternativních paliv na teplárenském zdroji**

**Design of Modification to the Equipment for Co-
Firing of Coal and Alternative Fuel Sources for Heat
Generation**

Student:

Ing. Vendula Drastichová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Vendula Drastichová**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2302T006 Energetické stroje a zařízení**
Téma: **Návrh úpravy zařízení pro kombinované spalování uhlí a alternativních paliv na teplárenském zdroji**
Design of Modifications to the Equipment for Co-Firing of Coal and Alternative Fuel Sources for Heat Generation

Zásady pro vypracování:

Navrhněte úpravy zařízení pro kombinované spalování uhlí a alternativních paliv na teplárenském zdroji.
Diplomová práce bude obsahovat:

1. Popis a základní technické parametry vybraného teplárenského zdroje.
2. Základní údaje o palivu a alternativním palivu.
3. Návrh spalovací zkoušky a potřebných úprav zařízení pro spalovací zkoušku.
4. Návrh úprav zařízení pro případné trvalé spoluspalování uhlí a alternativních paliv.
5. Zhodnocení očekávaných výsledků ze spoluspalování.

Grafické práce:

Výkresová dokumentace míchacího zařízení uhlí a alternativních paliv.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, V. a kol. *Parní kotle a spalovací zařízení*. SNTL Praha, 1975.
KOLAT, P. *Přenos tepla a hmoty*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1986.
DLOUHÝ, T. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. Skripta ČVUT Praha, 2005.
Zprávy katedry energetiky ze spalovacích zkoušek alternativních paliv.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Dagmar Buchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

Adresa trvalého pobytu autora práce:
Reymontova 8, Ostrava – Hrabová 720 00

.....
plné jméno autora práce

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu doc. Dr. Ing. Bohumíru Čechovi za odborné vedení, ochotu, cenné rady, připomínky a předání mnohých zkušeností při vedení mé diplomové práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DRASTICHOVÁ V., *Návrh úpravy zařízení pro kombinované spalování uhlí a alternativních paliv na teplárenském zdroji., Diplomová práce.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013, 52 s. Vedoucí práce: Čech, B.

Diplomová práce se zabývá problematikou kombinovaného spalování biomasy pro energetické využití s fosilním černým uhlím. Jedná se o směs fermentovaných travin a stébelnin s tříděným komunálním odpadem. Spalovací zkouška byla provedena na kotli K6 v Teplárně Československé armády v Karviné. Jedná se o granulární kotel s mezibunkrováním uhelného prášku. Cílem spalovací zkoušky bylo ověření vlastností technologie kotle a souvisejícího zařízení při spalování směsi těchto paliv. V průběhu spalovací zkoušky bylo prováděno rozsáhlé měření emisí plyných i tuhých. S ohledem na připravované předpisy a vyhlášky v oblasti skládkování a recyklace bude vyvíjen větší důraz na spalování těchto materiálů s fosilními palivy. Cílem diplomové práce bylo provedení spalovací zkoušky a návrh zařízení pro míchání alternativních a fosilních pevných paliv.

Klíčová slova: kombinované spalování, alternativní palivo, teplárenský zdroj

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DRASTICHOVÁ V., *Design of Modification to the Equipment for Co-Firing of Coal and Alternative Fuel Sources for Heat Generation., Master Thesis.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, The Department of Power Engineering 2013, 52 p. Thesis head: Cech, B.

This thesis deals with the co-firing of biomass for energy production with fossil carbon black. It is a blend of fermented grass and stalk with sorted household waste. The combustion test was carried out on the boiler K6 in Heating Plant Czechoslovak army in Karvina. It is a granulating furnace with related equipment's during the burning of these coal powder. The aim of the test was to verify the combustion characteristics and technology of the boilers and related equipment by burning a mixture of these fuels. During combustion tests were performed large-scale emission measurements of gaseous and solid. With regard to the forthcoming legislation and regulations in the landfill and recycling will be put greater emphasis on the co-firing of these materials with fossil fuels. The aim of this thesis was to conduct combustion tests and to design the equipment for mixing alternative and fossil solid fuels together.

Key words: co-firing, Alternative Fuel Sources, Heat Generation

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam použitých značek a symbolů | 1 |
| Úvod | 3 |
| 1 Současný stav legislativy týkající se KVET | 4 |
| 1.1 Druhy a parametry podporovaných obnovitelných zdrojů | 4 |
| 2 Návrh spalovací zkoušky pro kombinované spalování energokompostu pro energetické využití a uhlí na kotli K6..... | 5 |
| 2.1 Metodika měření koncentrace plyných emisí | 6 |
| 2.2 Vzorky směsi paliva, strusky a popílku | 6 |
| 2.3 Metodika stanovení těžkých kovů, POPs | 7 |
| 2.4 Technický popis kotle K6..... | 8 |
| 2.5 Popis mlýnice a jednotlivých paliv | 9 |
| 2.6 Palivo pro spalovací zkoušku | 11 |
| 2.6.1 Biomasa – kompost pro energetické využití (energokompost)..... | 11 |
| 2.6.2 Černé uhlí a uhelné kaly | 13 |
| 2.7 Výběr hmotnostních poměrů směsi | 14 |
| 2.7.1 Orientační bilance spotřeby paliva a směsné kvalitativní znaky..... | 15 |
| 3 Účinnost kotle | 16 |
| 3.1 Stanovení přímé účinnosti kotle | 16 |
| 3.2 Stanovení nepřímé účinnosti kotle | 16 |
| 3.2.1 Výpočet stechiometrického objemu spalovacího vzduchu a vzniklých spalin | 17 |
| 3.2.2 Výpočet nepřímé účinnosti kotle | 20 |
| 3.2.2.1 Ztráta mechanickým nedopalem (hořlavinou v tuhých zbytcích) | 20 |
| 3.2.2.2 Ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalinách)..... | 21 |
| 3.2.2.3 Ztráta citelným teplem tuhých zbytků..... | 21 |
| 3.2.2.4 Ztráta citelným teplem spalin (komínová) | 22 |
| 3.2.2.5 Ztráta sdílením tepla do okolí | 22 |
| 4 Spalovací zkouška pro kombinované spalování energokompostu | 24 |
| 4.1 Metodiky měření a výběr měřicích míst..... | 25 |
| 4.1.1 Metodika měření koncentrace plyných emisí | 25 |
| 4.1.2 Vzorky směsi paliva, strusky a popílku | 25 |
| 4.1.3 Údaje provozních měřicích přístrojů..... | 26 |
| 4.2 Průběh měření. | 26 |
| 4.2.1 22. 4. 2013 | 26 |
| 4.2.2 Základní palivo – směs černého ostravského uhlí granulovaných kalů | 27 |
| 4.2.3 Energokompost | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Výpočet účinnosti kotle..... | 29 |
| 5.1 Spoluspalování černého uhlí a uhelného kalu..... | 29 |
| 5.1.1 Skutečné množství vlhkého vzduchu a spalin při spoluspalování ČU a UP | 30 |
| 5.1.2 Nepřímá účinnost parního kotle při spoluspalování ČU a UK | 33 |
| 5.2 Spoluspalování černého uhlí, uhelného kalu a energokompostu | 35 |
| 5.2.1 Skutečné množství vlhkého vzduchu a spalin při spoluspalování ČU, UP a EK..... | 35 |
| 5.2.2 Neřímá účinnost parního kotle při spoluspalování ČU, UK a EK | 39 |
| 5.3 Přehled ztrát a účinností kotle..... | 41 |
| 6 Výsledky měření..... | 42 |
| 6.1 Výsledky z měření koncentrace plyných směsí..... | 42 |
| 7 Výpočet dotace při spoluspalování uhlí, uhelných kalů a energokompostu | 44 |
| 7.1 Rok 2012..... | 44 |
| 7.2 Rok 2013..... | 44 |
| 7.3 Srovnání dotace pro rok 2012 a 2013 | 45 |
| 8 Návrh úprav zařízení pro případné trvalé spoluspalování uhlí a energokompostu | 46 |
| Závěr | 47 |
| Literatura | 50 |
| Seznam příloh..... | 51 |
| Seznam obrázků | 51 |
| Seznam tabulek | 52 |
| Seznam grafů..... | 52 |

Seznam použitých značek a symbolů

| | | |
|----------------|---|------------------|
| η | Účinnost kotle | % |
| \dot{Q}_{pp} | teplo předané páře | kW |
| \dot{Q}_{nv} | teplo přivedené (příkon) v napájecí vodě do kotle | kW |
| \dot{Q}_{pr} | teplo přivedené | kW |
| $V_{O_2,t}$ | Stechiometrické množství kyslíku | m^3_N/kg_{pal} |
| $V^s_{vz,t}$ | Objemové množství teoretického vzduchu suchého | m^3_N/kg_{pal} |
| $V^s_{vz,sk}$ | Objemové množství skutečného vzduchu suchého | m^3_N/kg_{pal} |
| $V^v_{vz,sk}$ | Objemové množství skutečného vzduchu vlhkého | m^3_N/kg_{pal} |
| $V^s_{sp,t}$ | Objemové množství teoretických suchých spalín | m^3_N/kg_{pal} |
| $V^s_{sp,sk}$ | Objemové množství skutečných suchých spalín | m^3_N/kg_{pal} |
| $V^v_{sp,sk}$ | Objemové množství skutečných vlhkých spalín | m^3_N/kg_{pal} |
| α | součinitel přebytku vzduchu před SOV | - |
| R1 – R7 | pomocné konstanty stochiometrických objemů | - |
| V1 – V3 | pomocné hodnoty objemů spalín | m^3_N/kg_{pal} |
| b | podíl nespáleného uhlíku paliva | kg/kg_{pal} |
| ω_i | objemový podíl složky ve směsi plynů | m^3_N/kg_{pal} |
| X_i | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků | kg/kg_{pal} |
| C_i | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků | kg/kg_{pal} |
| α_k | součinitel přebytku vzduchu za PK | - |
| a_1 | podíl uhlíku paliva spáleného na CO | kg/kg_{pal} |
| v | součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti | - |
| ξ_C | ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích) | - |
| ξ_{CO} | ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalínách) | - |

| | | |
|------------------|--|------------------------|
| ξ_f | ztráta citelným teplem tuhých zbytků | - |
| ξ_k | ztráta komínová (fyzické teplo spalin) | - |
| ξ_{sv} | ztráta sdílením tepla do okolí | - |
| Q_1 | redukováná výhřevnost paliva | kJ/kg |
| Q_r^i | výhřevnost směsi | kJ/kg _{pal} |
| ΔQ_{pal} | teplo přivedené přehřevem 1 kg paliva | kJ/kg _{pa} |
| ΔQ_{POV} | teplo přivedené přehřevem spalovacího vzduchu | kJ/kg _{pal} |
| ΔQ_{sr} | teplo přivedené recirkulací spalin | kJ/kg _{pal} |
| a_2 | podíl nespáleného CH ₄ | kJ/kg _{pal} |
| A^r | obsah popela v surovém palivu | - |
| c_{si} | střední měrná tepelná kapacita tuhých zbytků | kJ/(K.m ^s) |
| t_i | teplota | °C |
| ξ_{sv} | ztráta sdílením tepla do okolí při jmenovitém výkonu | - |
| Q^{daf} | spalné teplo | MJ/kg |
| x^r | Zastoupení jednotlivých prvků v surovém palivu | % |
| V^{daf} | prchavá hořlavina | % |
| C_{zbsp} | celková výše podpory KVET při společném spalování | Kč |
| E_{kvet} | množství elektřiny vyrobené v KVET | MWh |
| ZB_{zs} | základní sazba zeleného bonusu | Kč/MWh |
| E_{Nkvet} | množství elektřiny vyrobené v KVET připadající na biomasu | MWh |
| ZB_{dopl_II} | doplňková sazba II k základní sazbě zeleného bonusu [Kč/MWh] | Kč/MWh |

Úvod

Důraz na způsoby efektivního využívání energií je intenzivnější a to zejména z pohledu závislosti na energetických zdrojích. Kombinovaná výroba tepla je jednou z úspor primární energie. Česká republika je jednou ze zemí, která má vybudovanou soustavu zásobování teplem a jsou z většiny zásobovány tepelnou energií právě z kombinované výroby tepla a elektřiny (dále jen KVET).

Právní rámec Evropské unie podporuje vysoce účinné KVET (dále jen vÚKVET) a přímo definuje pojem užitečné teplo, stanovuje zásady, podpůrné programy, záruky původu atd. Jedná se o směrnici Evropského parlamentu a Rady 2004/8/ES o podpoře kombinované výroby tepla a elektřiny založené na poptávce po užitém teple na vnitřním trhu s energií. V české legislativě je tato směrnice promítnuta zejména v:

- zákoně č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů,
- zákoně č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

Spoluspalování uhlí a alternativních paliv je také jednou z podporovaných oblastí, která je promítnuta zejména do nového zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů.

Práce se zaměří na návrh spalovací zkoušky pro kombinované spalování uhlí a alternativního paliva. V závěru bude zhodnocen výsledek zkoušky.

1 Současný stav legislativy týkající se KVET

Evropská unie si stanovila ambiciózní cíle, snížit emise skleníkových plynů o 20, zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na 20 % a ušetřit 20 % energie. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla může hrát důležitou roli v úspoře této energie. Aby byl přechod k alternativním zdrojům plynulý, musí se stávající zdroje (uhlí) využívat s vysokou účinností tedy efektivně a ekologicky.

Dle zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů se rozumí kombinovanou výrobou elektřiny a tepla (dále jen KVET) přeměna primární energie na energii elektrickou a užitečné teplo ve společném současně probíhajícím procesu v jednom výrobním zařízení. Tento zákon platí od 1. ledna 2013. Jeho cílem je podpořit zdroje energie elektrické, tepelné a biometanu a zachovat nárok pro vysokoúčinná KVET (vuKVET) především na přednostní připojení k přenosové a distribuční soustavě za účelem přenosu elektřiny.

Rozsah a výši podpory pro podporované zdroje stanovuje Energetický regulační úřad v cenovém rozhodnutí č. 4/2012. Formy podpory elektřiny jsou dvě a to formou zelených bonusů či výkupních cen. Právo podpory výkupních cen mají dle zákona zdroje vyrábějící elektřinu z obnovitelných zdrojů využívajících energii vody o instalovaném výkonu do 10 MW a u ostatních obnovitelných zdrojů do výkonu 100 kW. V ostatních případech (i vuKVET) se využije podpora formou zeleného bonusu, která je stanovena na elektřinu v Kč/MWh a na teplo v Kč/GJ a je poskytován v hodinovém nebo ročním režimu.

Za elektřinu z vuKVET se považuje množství elektřiny stanovené vyhláškou č. 453/2012 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů a při jejíž výrobě se dosáhne poměrné úspory primární energie (UPE) ve výši alespoň 10 % stanovené postupem v této vyhlášce.

1.1 Druhy a parametry podporovaných obnovitelných zdrojů

Koncem roku 2012 vešla v platnost také vyhláška č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů. Stanovuje druhy a parametry podporovaných obnovitelných zdrojů, způsoby využití obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a tepla a rozděluje biomasu do jednotlivých kategorií pro stanovení výše účelu podpory.

2 Návrh spalovací zkoušky pro kombinované spalování energokompostu pro energetické využití a uhlí na kotli K6

Pro ověření, zda se dá kombinovaně spalovat biomasa – kompost pro energetické využití (dále jen energokompost) a směs černého uhlí, byl vypracován návrh spalovací zkoušky.

Cílem návrhu spalovací zkoušky je ověření, zda je možné kombinovaně spalovat černé uhlí a kaly s energokompostem na kotli K6. Součástí zkoušky je ověření vlivu spalování palivové směsi na chování a provoz granulačního kotle K6. Na základě této zkoušky bude rozhodnuto o případném dalším spalování podobných hmot na kotli K6 a K7 na Teplárně Československé armády.

Tento návrh byl vypracován dle podkladů:

- materiály zhotovitele zařízení: „Popis kotle“ dokumentace kotlů K6,
- ČSN 070302 „Předpisy pro záruční zkoušky parních kotlů“,
- certifikát palivové směsi pro energetické využití,
- prohlídka komplexu kotelního zařízení s odlučovačem pro upřesnění měřících míst,
- technické jednání dne 28. 1. 2013 s upřesněním zadání pro spalovací zkoušku.

Při spalovací zkoušce se směsí 10 % energokompostu, 70 % černého uhlí a s 20 % granulovaných kalů se provede:

- seřízení spalovacího procesu s dosažením maximální účinnosti spalování,
- sledování dopravitelnosti a homogenizace směsi,
- sledování parního výkonu kotle s cílem dosažení jmenovitého výkonu,
- plynné emise – (CO , NO_x , SO_2 a vztažný kyslík),
- měření plynných emisí HCl , HF , a perzistentních organických polutantů PAU, PCB, PCDD a PCDF,
- měření emisí těžkých kovů základní skupiny,
- kontinuální měření nezávislými přístroji po dobu 6 hodin (VŠB),
- sledování parametrů přehřáté páry, množství vstříku,
- odběr vzorků paliva, strusky a popílku.

Doba trvání spalovací zkoušky: 60 hodin

Předpokládaný termín měření: (dle požadavku TČA)

2.1 Metodika měření koncentrace plyných emisí

Měření plyných emisí SO_2 , CO , NO_x na výstupu z odlučovače za kouřovým ventilátorem kotle se provádí kontinuálním způsobem akreditovanou a autorizovanou měřicí skupinou VŠB. Měřené koncentrace se po celou dobu zkoušky zaznamenávají jako minutové průměry pomocí měřicího systému firmy NATIONAL INSTRUMENTS. [3]

Měření koncentrace CO , SO_2 a NO_x ve spalínách

Koncentrace CO , NO_x se měří kontinuálním analyzátozem SIEMENS Ultramat 23, pracujícím na principu absorpce infračerveného záření.

Odběr vzorků spalin se uskutečňuje pomocí vyhřívané sondy s vyhřívaným keramickým filtrem pro odloučení tuhých částic, za kterým je připojeno vytápěné vedení vzorku (vytápěná hadice od fy JCT) k zabránění kondenzace odebíraného vzorku spalin při jeho dopravě. Na konci vytápěného vedení je instalována chladnice plynu od fy JCT, v níž dochází k odloučení vlhkosti ze spalin. Takto upravený vzorek se zavede do analyzátoru, který je před měřením kalibrován pomocí směsi kalibračních plynů.

Výsledky se vyjádří v miligramech CO a SO_2 v 1 m^3 suchých spalin za normálních podmínek, vztaženy na referenční obsah 6 % O_2 . Koncentrace oxidů dusíku se vyjádří v miligramech NO_x přepočtených na NO_2 v 1 m^3 suchých spalin za normálních podmínek, vztaženy na referenční obsah 6 % O_2 . [3]

Měření koncentrace O_2 ve spalínách (emisní měření).

Koncentrace O_2 ve spalínách se měří kontinuálním analyzátozem Magnos 6G od firmy Hartmann & Braun pracujícím na principu paramagnetických vlastností kyslíku. Naměřené hodnoty se vyjádří v objemových procentech O_2 ve spalínách a slouží jako vztažné veličiny pro referenční přepočty. [3]

2.2 Vzorky směsi paliva, strusky a popílku

Směs paliva se odebere z dopravních tras zauhlování – kvartací se vytvoří průměrné vzorky po 5 kg. Samostatně se odebere vzorek surového uhlí, uhelných kalů a samostatně se odebere vzorek energokompostu.

Struska se odebere z výsyvky drtiče před vstupem na dopravní pás. Popílek se odebere z dopravní trasy popílku pod látkovým a mechanickým odlučovačem.

Kvartací se výsledné vzorky zprůměrují.

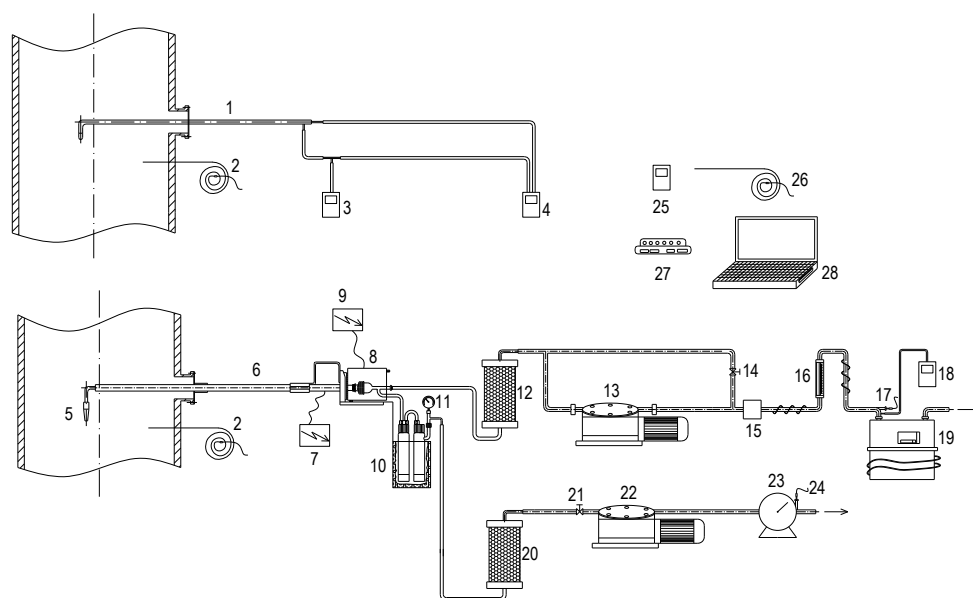
2.3 Metodika stanovení těžkých kovů, POPs

Měření koncentrace těžkých kovů ve spalínách

Vzorkování odpadních plynů se provádí filtračně - absorpční metodou podle ČSN EN 14385.

Odběr vzorku plynu z potrubí se provádí izokineticky. Prachové částice v odebraném vzorku plynu se zachytí na filtru. Proud plynného vzorku je dále veden sérií absorbérů obsahujících absorpční roztoky, v nichž se zachytí materiál prošlý filtrem, schéma viz. ČSN EN 14385, příloha B, Obr. č. 1.

Filtr, absorpční a oplachové roztoky se shromažďují a jsou po ukončeném vzorkování předány do laboratoře k analýze. [4]

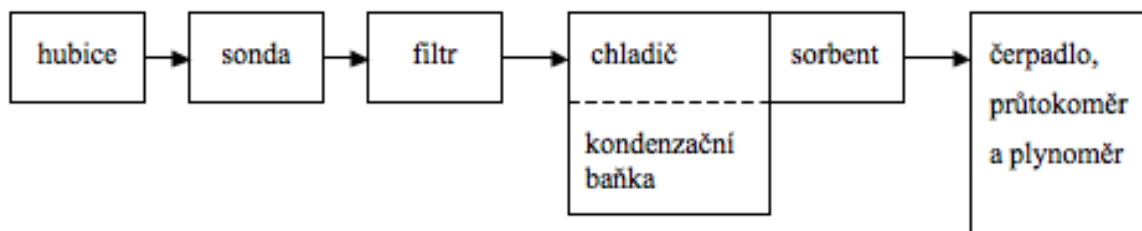


- | | | | |
|----|---------------------------------------|----|---|
| 1 | Prandtlova sonda | 15 | tlumič (hlavní větev) |
| 2 | snímač teploty v kouřovodu | 16 | průtokoměr (hlavní větev) |
| 3 | snímač statického tlaku v kouřovodu | 17 | snímač teploty na vstupu do plynoměru |
| 4 | snímač diferenčního tlaku v kouřovodu | 18 | snímač tlaku na vstupu do plynoměru |
| 5 | hubice | 19 | plynoměr (hlavní větev) |
| 6 | vyhřívaná odběrová sonda | 20 | sušící věž (vedlejší větev) |
| 7 | regulátor teploty sondy | 21 | regulátor průtoku (vedlejší větev) |
| 8 | filtr ve vyhřívaném boxu | 22 | čerpadlo plynu (vedlejší větev) |
| 9 | regulátor teploty filtru | 23 | plynoměr (vedlejší větev) |
| 10 | absorbéry (vedlejší větev) | 24 | snímač teploty plynoměru (vedlejší větev) |
| 11 | snímač teploty (volitelné) | 25 | snímač atmosférického tlaku (barometr) |
| 12 | sušící věž (hlavní větev) | 26 | snímač teploty okolí |
| 13 | čerpadlo plynu (hlavní větev) | 27 | ústředna (shromažďování a přenos dat) |
| 14 | regulátor průtoku (hlavní větev) | 28 | PC (zpracování dat) |

Obr. č. 1 Schéma aparatury pro vzorkování odpadních plynů [4]

Stanovení POPs ve spalínách

Vzorkování odpadních plynů se provádí filtračně-kondenzační metodou podle ČSN EN 1948-1. Odběr vzorku plynu z potrubí se provádí izokineticky. [5] POP sorbované na pevných částicích a vyskytující se v plynné fázi se zachycují vzorkovací tratí, viz. Obr. č.



2:

Obr. č. 2 Vzorkovací trať [5]

2.4 Technický popis kotle K6

Parní kotel viz. Obr. č. 3 o jmenovitém výkonu 75 t.h^{-1} je jednobubnový, dvoutahový s práškovým topením, s přirozenou cirkulací kotelní vody a vstřikovou regulací teploty přehřáté páry vlastním kondenzátem. Základní parametry kotle viz. Tab. č. 1.



Obr. č. 3 Parní kotel K6

První tah - spalovací komora - je chlazená třemi stěnami chladicího registru a mezistěnou, která tvoří varný systém kotle. Várnice jsou zavodňovány ze spodní části bubnu dvěma zavodňovacími trubkami o $\phi 159 \text{ mm}$, dvěma o $\phi 194 \text{ mm}$ a dvěma o $\phi 219 \text{ mm}$. Zavodňovací trubky jsou k bubnu přivařeny pomocí nátrubků.

Spodní komory jsou zavodněny 12 trubkami o $\phi 70 \text{ mm}$, které jsou ve spodní části bubnu zaválcovány.

Stoupací trubky (várnice) jsou v horní části zaústěny do komory, která je spojena spojovacími trubkami s bubnem, nebo jsou zaústěny rozvětveně přímo do bubnu. Poměr průřezu zavodňovacích trubek je volen tak, aby byla zaručena cirkulace.

Do prostoru přechodu spalin z prvního do druhého tahu je umístěn druhý a třetí stupeň přehřívače. První stupeň přehřívače je umístěn v horní části druhého tahu.

Základním palivem je černé uhlí, případně směs černých uhlí a uhelných kalů. Palivo je připravováno ve dvou trubnatých mlýnech s mezibunkrováním uhelného prášku.

Pro zapalování a stabilizaci kotle je určeno jako palivo zemní plyn, případně degazační plyn.

V průběhu roku 1996 a 1997 byly na kotli provedeny úpravy mlýnských okruhů s cílem snížení emisí NO_x a CO a dosažení emisních limitů. Úpravy byly provedeny změnou dopravy primární směsi do kotle, přerozdělením spalovacího vzduchu a změnou počtu hořáků.

Tab. č. 1 Parametry kotle K6

| | | |
|---------------------------------|----------------|-------------|
| Jmenovitý výkon kotle | 75 | t/h (57 MW) |
| Hospodárný výkon kotle | 60 | t/h |
| Minimální výkon bez stabilizace | 45 | t/h |
| Pracovní tlak přehřáté páry | 3,8 | MPa |
| Nejvyšší tlak přehřáté páry | 4,15 | MPa |
| Pracovní teplota přehřáté páry | 450 (-15, +10) | °C |
| Nejvyšší teplota přehřáté páry | 460 | °C |
| Pracovní teplota napájecí vody | 105 ÷ 140 | °C |

2.5 Popis mlýnice a jednotlivých paliv

Kotel je vybaven dvěma trubnatými mlýny, základní parametry jsou uvedeny v Tab. č. 2. Mlýnský okruh je uzavřený s mezibunkrováním uhelného prášku. Palivo se ve mlýně suší a následně dopravuje spaliny. Ze zásobníků surového paliva je uhlí dopravováno talířovými podavači na vstup do trubnatých mlýnů. Po semletí paliva ve mlýnech (viz. Obr. č. 4) je palivo pneumaticky dopravováno z mlýnů do třídiče. Regulace teploty na výstupu z třídiče se provádí recirkulací brýd.



Obr. č. 4 Mlýn B - kotel K6

Hrubá uhelná krupice odloučená v třídíči se dopravuje zpět na vstup do mlýnů. Jemná směs uhelného prášku a brýd je zavedena do cyklónů, kde se odloučí uhelný prášek od nosné vzdušiny. Odloučený uhelný prášek je gravitačně dopraven do zásobníků uhelného prášku. Nosná vzdušina-brýdy jsou zavedeny do dvojice brýdových hořáků umístěných v boční stěně kotle v oblasti hlavních výkonových hořáků. Uhlenný prášek ze zásobníků uhelného prášku je gravitačně dopravován do komůrkových podavačů a přes rotační uzávěry vstupuje do směšovacích ejektorů jednotlivých hořáků. Výkonové hořáky jsou na kotli 4, z toho 2 pro každý mlýnský okruh.

Tab. č. 2 Parametry mlýna

| | | |
|--------------------|-----------------|-------------------|
| Typ mlýna | 24/390 trubnatý | |
| Výkon mlýna | 9,5 | t/h |
| Otáčky mlýna | 20 | ot/min |
| Sušící médium | Spaliny | |
| Brýdový ventilátor | Typ RVK 1250 | |
| Jmenovité množství | 7 | m ³ /h |
| Jmenovitý tlak | 7050 | Pa |
| Výkon mototru | 65 | kW |
| Otáčky motoru | 1480 | ot/min |

Mlýn na pravé straně kotle je označen "A". Mlýn na levé straně je označen "B".

Schéma mlýnského okruhu viz. Příloha č. 1

2.6 Palivo pro spalovací zkoušku

2.6.1 Biomasa – kompost pro energetické využití (energokompost)

- Název paliva: kompost k energetickému využití (dále jen energokompost),
- zatřídění: energeticky využitelná biomasa, dle Tab. č. 1, skupina č. 2, odst. j), Přílohy č. 1 vyhlášky č. 482/2005 Sb., ve znění vyhlášky č. 453/2008 Sb. (dle certifikátu) => *dle současně platné legislativy tj. vyhláška č. 477/2012 Sb., o stanovené druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla a biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů je energokompost zaříděn do kategorie 2, bod n,*
- výrobce a dodavatel: AGRO – EKO spol s r.o., Technologická 372/2, Ostrava – Pustkovec,
- dodávající jednotka: kompostárna Albrechtice (okr. Karviná), Obecní ul. 811,
- dokumentace výrobní: PN AE0020905Z-3, Provozní řád kompostárny,
- certifikace paliva: VVUÚ, a.s., Ostrava – Radvanice, označení protokolu VVUU-033/H/2012,
- vlastnosti viz. Tab. č. 3.

Tab. č. 3 Vlastnosti energokompostu dle PN (vybrané)

| Veličina | Jednotka | Popis veličiny | Hodnota |
|-----------------|----------|----------------|------------|
| W_t^r | % | vlhkost | max. 50 |
| A^r | % | popeloviny | max. 20 |
| Q_i^r | MJ/kg | výhřevnost | min. 9 |
| granulometrie | | | 10 – 50 mm |
| částice < 10 mm | | | max. 20% |

Certifikát palivové směsi je uveden v Příloha č. 2.

Přesné kvalitativní znaky energokompostu byly upřesněny při zajišťování konkrétního paliva viz. Příloha č. 3.

Energokompost vzniká ve fermentoru (viz. Tab. č. 4, Obr. č. 5, Obr. č. 6), vsádku tvoří cíleně sbíraný komunální odpad shromažďovaný např. ve sběrných dvorech. Vsádka je tvořena směsí čerstvých travin, dřevin, papíru apod. Nejedná se tedy o směsný komunální odpad. Certifikát energokompostu viz. Příloha č. 2



Obr. č. 5 Anaerobní fermentor [6]

Optimální vlhkost zakládky ve fermentoru je 35 % a dostupnost vzdušného kyslíku aktivuje metabolický aparát aerobních bakterií. Aerací a překopáváním uvnitř fermentoru dochází k provzdušňování zakládky. Vysoká úroveň metabolické aktivity a současně množení bakterií se navenek projevuje zvyšováním teploty zakládky. Za stejných podmínek probíhá v celém profilu zakládky intenzivní termofilní aerobní fermentace, čímž se urychlují kompostovací procesy. Složité organické látky se rozkládají a přeměňují se v jiné. Díky optimálním podmínkám probíhá ve fermentoru bouřlivá biologická oxidace. Teplota v zakládce se zvyšuje nad 70°C a dochází k postupné denaturaci bílkovin. Vysoké teploty v zakládce po definovanou dobu způsobují inaktivaci přítomných mikrobů a patogenních organismů (viry, bakterie, kvasinky, plísně, prvoci, červi). Tento proces se nazývá aerobní termofilní stabilizace a hygienizace zakládky. Působením vysoké teploty se snižuje množství mikroorganismů a semena plevelů ztrácejí svou klíčivost. Tato fáze trvá minimálně 48 hodin od založení zakládky. Výsledkem je zkompostovaná frakce směsi vytríděného podsítného a přídatného materiálu (papír, sláma apod.) o vlhkosti 40 - 45%. Ve druhé fázi zpracování se spouští režim biologického dosušování. Jeho podstata spočívá v tom, že se intenzivní, ale řízenou aerací zakládky z fermentoru vytěsňuje vodní pára. Přitom je důležité, aby se teplota zakládky udržela nad 50 °C. V případě vysoké vlhkosti atmosférického vzduchu je výhodné snížit vlhkost rekuperačním prvkem, řešeného v rámci vzduchotechniky technologie, který lze ihned expedovat nebo nechat dozrát na vhodné ploše. [6]



Obr. č. 6 Pracovní prostor fermentoru [6]

Tab. č. 4 Parametry fermentoru [6]

| | | |
|---------------------------------------|---------------------------|-----------|
| Rozměry | délka: | 12 192 mm |
| | šířka: | 2 438 mm |
| | výška: | 2 896 mm |
| Hmotnost prázdného fermentoru: | 14 800 kg | |
| Maximální hmotnost plného fermentoru: | 32 000 kg | |
| Objem pracovní části: | 36 m ³ | |
| Hmotnost jedné základky: | | 10 - 17 t |
| Spotřeba el. energie na zpracování | 1 t kompostu | 5 kWh |
| | 1 t biopaliva | 8 kWh |
| | Výhřevnost 1 kg biopaliva | cca 10 MJ |

2.6.2 Černé uhlí a uhelné kaly

Hlavní kvalitativní znaky černého uhlí OKD, a.s. jsou uvedeny v Tab. č. 5.

Tab. č. 5 Kvalitativní znaky černého uhlí OKD, a.s.

| | |
|---|------------|
| Výhřevnost Q_{ri} | 23 MJ/kg |
| Obsah vody W^r | 8 % |
| Obsah popela A^r | 22 % |
| Obsah popela A^d | 24 % |
| Obsah síry S^r | 0,4 % |
| Prchavá hořlavina V^{daf} | 31,0 % |
| Prvkový rozbor - (sušina "d") | |
| A – 28 %, S_t - 0,5 %, C_t – 62 %, H_t - 3,6 %, N - 0,9 %, O - 5,2 % | |
| Složení popela: | |
| SiO ₂ - 53,7 %, Al ₂ O ₃ - 24,6 %, CaO - 3,6 %, MgO - 1,67 %, TiO ₂ - 1,03 %, Fe ₂ O ₃ - 7,9 %, SO ₃ - 0,96 %, Na ₂ O - 0,85 %, K ₂ O - 2,62 %, P ₂ O ₅ - 0,25 % | |
| Melitelnost: | 70 - 90 Hg |
| Granulometrie: | 0 - 30 mm |

Hlavní kvalitativní znaky uhelných kalů OKD, a.s. jsou uvedeny v Tab. č. 6.

Tab. č. 6 Kvalitativní znaky uhelných kalů OKD, a.s.

| | |
|----------|------------|
| Q_r^i | 16,9 MJ/kg |
| S_t^r | 0,86 % |
| A^d | 14,0 % |
| A^r | 10,0 % |
| W^{tr} | 28,6 % |

Přesné kvalitativní znaky černého uhlí a uhelných kalů byly upřesněny při zajišťování konkrétního paliva viz. Příloha č. 3.

2.7 Výběr hmotnostních poměrů směsi

Na základě obdobných spalovacích zkoušek a dosavadních zkušeností se spalováním extrahovaného šrotu z rostlinných semen na kotlích TČA bylo provozovatelem a Krajským úřadem rozhodnuto provést spalovací zkoušky se směsí energokompostu, černého uhlí a uhelných kalů v hmotnostním poměru 10 % energokompostu, 70 % černého uhlí a 20 % uhelných kalů.

Při volbě hmotnostního poměru energokompostu a černého uhlí byl brán ohled zejména na :

- nutnost dosažení jmenovitého výkonu kotle,
- vyšší zatížení mlýnského okruhu materiálem s výrazně horší melitelností,
- bezpečnost mlýnského okruhu s mezibunkrováním uhelného prášku s ohledem na vysoký obsah prchavé hořlaviny v energokompostu,
- dopravní možnosti stávajících zařízení vnějšího a vnitřního zauhlování kotelny.

Mísení směsi energokompostu, černého uhlí a uhelných kalů probíhá na uhelné skládce TČA. Doprava energokompostu se uskutečňuje velkoprostorovými kamiony. Energokompost se uloží na vnějším prostoru uhelné skládky, proti účinkům větru bude prostor chráněn násypem ochranného valu z černých uhlí. Pro dlouhodobější skladování se doporučuje překrýt vrchol hromady energokompostu ochrannou textilií proti účinkům silných větrů.

Základní mísení energokompostu, uhlí a uhelných kalů se uskuteční provizorně kolovým nakládačem. Paliva se předmíchají na uhelné skládce v hmotnostním poměru:

- 1 lžíce energokompostu,
- 7 lžic černého uhlí a
- 2 lžíce uhelných kalů.

Palivo bude dále dávkováno do hlubinného zásobníku, kde dojde k další homogenizaci směsi.

2.7.1 Orientační bilance spotřeby paliva a směsné kvalitativní znaky

| | | |
|----------------------------|------------------------|------|
| Základní hmotnostní poměr: | černé energetické uhlí | 70 % |
| | uhelné kaly | 20 % |
| | energokompost | 10 % |

Vzhledem k tomu, že při návrhu spalovací zkoušky nebyly k dispozici rozborů a zejména vlhkost energokompostu, složení směsi se pouze předpokládalo.

Tab. č. 7 Předpokládané složení směsi pro spalovací zkoušku

| | |
|----------|------------|
| Q_r^i | 20,4 MJ/kg |
| S_t^r | 0,4 % |
| A^d | 18,5 % |
| A^r | 15,5 % |
| W^{tr} | 12 % |

Spotřeba směsi paliva pro zkoušku v době trvání 60 hodin při jmenovitém výkonu kotle byla odhadnuta dle rovnice (1) na $2,8 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ tj. cca $10 \text{ tun} \cdot \text{hod}^{-1}$.

$$\dot{m}_{pal} = \frac{P}{Q_i^r \cdot \eta} = \frac{57}{22,4 \cdot 0,9} = 2,8 \frac{\text{kg}_{pal}}{\text{s}} \approx 10 \frac{\text{t}_{pal}}{\text{h}} \quad (1)$$

Potřebné množství směsi paliva pro zkoušku cca 600 tun, z toho:

- černé energetické uhlí 420 tun
- uhelné kaly granulované 120 tun
- energokompost 60 tun cca 3 kamiony

Pozn. Hmotnost biopaliva pro zkoušku odpovídá přibližně hmotnosti tří plně naložených kamiónů s posuvnou podlahou.

3 Účinnost kotle

U parního kotle rozlišujeme hrubou účinnost (účinnost vlastního parního kotle) a čistou účinnost (účinnost úplné soustavy parního kotle s příslušným pomocným zařízením).

V praxi se většinou vyjadřuje hrubá účinnost a uvádí se údaj o vlastní spotřebě pomocných zařízení nutných pro provoz kotle. Všeobecně je účinnost dána poměrem výkonu, tj. energie dodané vodě a páře ve výměnících tepla parního kotle k příkonu tj. energii přivedené do parního kotle v palivu a nebo z cizích zdrojů (tj. zdrojů mimo parní kotel). [1]

Účinnost parního kotle se určuje buď metodou přímou nebo metodou nepřímou (viz. norma ČSN 070302 [1]).

3.1 Stanovení přímé účinnosti kotle

Přímým způsobem se účinnost stanoví [1] jako poměr energie předané vodě a páře popřípadě jiným látkám ohříváním v parním kotli (nebo: zvětšení entalpie těchto látek) k příkonu, tj. veškeré energii přivedené zevně do parního kotle.

Vychází se z rovnice (2):

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{pp} - \dot{Q}_{nv}}{\dot{Q}_{pr}} [\%] \quad (2)$$

| | | | |
|-----|----------------|-----|--|
| kde | η | ... | účinnost kotle [%] |
| | \dot{Q}_{pp} | ... | teplo předané páře [kW] |
| | \dot{Q}_{nv} | ... | teplo přivedené (příkon) v napájecí vodě do kotle [kW] |
| | \dot{Q}_{pr} | ... | teplo přivedené [kW] |

3.2 Stanovení nepřímé účinnosti kotle

Nepřímá účinnost se stanoví z rovnice 26 viz. kapitola 3.2.2.

Před započítáním samotného výpočtu nepřímé účinnosti, musíme mít úplné vstupní údaje týkající se kotle a samotného spalování: parametry páry, napájecí vody, jmenovitý výkon kotle, parametry spalin rozbor paliva atd. Neprve se se musí vypočíst skutečné množství vzduchu a spalin - z látkové bilance se určí energetická bilance pomocí stechiometrických rovnic [1].

3.2.1 Výpočet stechiometrického objemu spalovacího vzduchu a vzniklých spalin

Stechiometrické rovnice pro dokonalé spalování (3 až 9):

Výpočet stechiometrického množství kyslíku

$$V_{O_2,t} = \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r + \frac{22,43}{2 \cdot 2} \cdot H_2^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r - \frac{22,39}{32} \cdot O_2^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \quad (3)$$

Množství teoretického vzduchu suchého

$$V_{vz,t} = \frac{V_{O_2,t}}{0,21} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \quad (4)$$

Množství vzniklých spalin teoretických suchých

$$V_{sp,t}^s = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \quad (5)$$

Vodní pára ve spalinách

$$V_{H_2O,t}^{sp} = 11,11 \cdot H^r + 1,24 \cdot W^r + (\nu - 1) \cdot V_{vz,t}^s \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \quad (6)$$

kde ν ... součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti. [-]

Složky stechiometrických objemů pro dokonalé spalování

- složení suchého spalovacího vzduchu

$$\begin{aligned} V_{vCO_2} &= 0,0003 \cdot V_{vz,t} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\ V_{vN_2} &= 0,7809 \cdot V_{vz,t} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\ V_{vAr} &= 0,0093 \cdot V_{vz,t} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

- stechiometrické objemy složek v suchých spalinách pro dokonalé spalování

$$\begin{aligned} V_{sCO_2} &= \frac{22,3}{12,01} \cdot C^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\ V_{sSO_2} &= \frac{21,9}{32,01} \cdot S^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\ V_{sN_2} &= \frac{22,4}{28} \cdot N^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

- stechiometrické objemy složek v suchých spalínách pro nedokonalé spalování

$$\begin{aligned}
 V_{sCO} &= \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\
 V_{O_2}(C) &= \frac{22,4}{12} \cdot C^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\
 V_{sCO} &= \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\
 V_{O_2}(C) &= \frac{22,4}{12} \cdot C^r \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]
 \end{aligned} \tag{9}$$

Parametry spalín při nedokonalém spalování charakterizující kvalitu spalování

(viz. vztahy 10 až 22)

Ve spalovacích zařízeních se musí palivo spalovat s větším množstvím vzduchu než je vypočítaný teoretický objem. Skutečný objem přivedeného vzduchu se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu α .

Součinitel přebytku vzduchu za parním kotlem

Ani při zvýšeném průtoku spalovacího vzduchu však nelze zajistit dokonalé vyhoření paliva. Abychom jej mohli stanovit musíme předpokládat, že podíl b uhlíku neshoří vůbec a odchází ze spalovacího zařízení společně s tuhými zbytky (škvára, popílek, úlet) a podíl a_1 shoří nedokonale na plynnou složku CO.

Součinitel přebytku před SOV

$$\alpha = \frac{R4 \cdot \omega_{O_2} + R5 \cdot \omega_{O_2} + R5}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{O_2} + R3} \quad [-] \tag{10}$$

$$R1 = -V_{vz,t} \cdot V_{sCO} \quad [-] \tag{11}$$

$$R2 = V_{vz,t} \cdot (0,5 \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_2) \quad [-] \tag{12}$$

$$V_2 = V_{sCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{vz,t} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \tag{13}$$

$$R3 = 0,2095 \cdot V_{vz,t} \cdot V_{sCO} \quad [-] \tag{14}$$

$$R4 = V_{sCO} \cdot (V_1 + b \cdot V_3) \quad [-] \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_{sp,t} - V_{vz,t} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \\
 V_3 &= V_{O_2}(C) - V_{sCO_2} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]
 \end{aligned} \tag{16}$$

$$b = \frac{A^r}{C^r} \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot X_i}{1 - C_i} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}_{\text{pal}}} \right] \quad (17)$$

$$R5 = V_2 \cdot (b \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_{vz,t}) - 0,5 \cdot V_{O_2}(C) \cdot (V_1 + b \cdot V_3) \quad [-] \quad (18)$$

$$R6 = V_{sCO} \cdot (0,2095 \cdot V_{vz,t} - b \cdot V_{O_2}(C)) \quad [-] \quad (19)$$

$$R7 = V_{vz,t} \cdot (0,2095 \cdot (V_1 + b \cdot V_3) + 0,2095 \cdot V_{vz,t} - b \cdot V_{O_2}(C)) \quad (20)$$

| | | | |
|-----|------------|-----|--|
| kde | α | ... | součinitel přebytku vzduchu před SOV [-] |
| | R1 – R7 | ... | pomocné konstanty stechiometrických objemů [-] |
| | V1 – V3 | ... | pomocné hodnoty objemů spalin [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | b | ... | podíl nespáleného uhlíku paliva [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | ω_i | ... | objemový podíl složky ve směsi plynů [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | X_i | ... | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | C_i | ... | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |

Součinitel přebytku za parním kotlem:

$$\alpha_k = \frac{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R4 \cdot \omega_{O_2} + R6) + a_1 \cdot R5 \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3)}{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3) + a_1 \cdot R2 \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3)} \quad [-] \quad (21)$$

$$a_1 = \frac{R7 \cdot \omega_{CO}}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{CO} + R3} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}_{\text{pal}}} \right] \quad (22)$$

| | | | |
|-----|------------|-----|--|
| kde | α_k | ... | součinitel přebytku vzduchu za PK [-] |
| | R1 – R7 | ... | pomocné konstanty stechiometrických objemů [-] |
| | a_1 | ... | podíl uhlíku paliva spáleného na CO [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | ω_i | ... | objemový podíl složky ve směsi plynů [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | X_i | ... | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | C_i | ... | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |

Objem spalin vzniklých spálením 1 kg paliva v místě na odchodu z parního kotle

$$V_{sp,sk}^s = V_{sp,t} + a_1 \cdot (V_{sCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{sCO_2}) + b \cdot (V_{O_2}(C) - V_{sCO_2}) + (\alpha_k - 1) \cdot V_{vz,t} \left[\frac{\text{m}_N^3}{\text{kg}_{\text{pal}}} \right] \quad (23)$$

| | | | |
|-----|---------------|-----|--|
| kde | $V_{sp,sk}^s$ | ... | objem spalin skutečných suchých [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | α_k | ... | součinitel přebytku vzduchu za PK [-] |
| | $V_{sp,t}$ | ... | objem spalin teoretických [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | a_1 | ... | podíl uhlíku paliva spáleného na CO [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | b | ... | podíl nespáleného uhlíku paliva [$\text{kg}/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | V_{si} | ... | stechiometrický podíl složek v suchých spalinách [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |
| | $V_{vz,t}$ | ... | objem vzduchu teoretického [$\text{m}_N^3/\text{kg}_{\text{pal}}$] |

Objem vlhkých spalin

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + V_{H_2O,sk}^{sp} \left[\frac{\text{m}_N^3}{\text{kg}_{\text{pal}}} \right] \quad (24)$$

$$V_{H_2O}^{sp} = V_{H_2O,t}^{sp} + (\alpha_k - 1) \cdot (v - 1) \cdot V_{vz,t} \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right] \quad (25)$$

| | | | |
|-----|-------------------|-----|---|
| Kde | $V_{sp,sk}^v$ | ... | objem spalin skutečných vlhkých [m_N^3/kg_{pal}] |
| | $V_{sp,sk}^s$ | ... | objem spalin skutečných suchých [m_N^3/kg_{pal}] |
| | $V_{H_2O}^{sp}$ | ... | objem vodní páry [m_N^3/kg_{pal}] |
| | $V_{H_2O,t}^{sp}$ | ... | objem vodní páry teoretický [m_N^3/kg_{pal}] |
| | α_k | ... | součinitel přebytku vzduchu za PK [-] |
| | v | ... | součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti [-] |
| | $V_{vz,t}$ | ... | objem vzduchu teoretického [m_N^3/kg_{pal}] |

3.2.2 Výpočet nepřímé účinnosti kotle

Po stechiometrických výpočtech se účinnost kotle stanoví nepřímou metodou měření jednotlivých ztrát [1]. Vychází se z rovnice (26):

$$\eta = 100 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_f - \zeta_k - \zeta_{sv} \quad [\%] \quad (26)$$

| | | | |
|-----|--------------|-----|--|
| kde | η | ... | účinnost kotle [%] |
| | ζ_C | ... | ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích) [-] |
| | ζ_{CO} | ... | ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalinách) [-] |
| | ζ_f | ... | ztráta citelným teplem tuhých zbytků [-] |
| | ζ_k | ... | ztráta komínová (fyzické teplo spalin) [-] |
| | ζ_{sv} | ... | ztráta sdílením tepla do okolí [-] |

3.2.2.1 Ztráta mechanickým nedopalem (hořlavinou v tuhých zbytcích)

$$\zeta_C = \frac{b \cdot C^r \cdot 32600}{Q_1} \quad [-] \quad (27)$$

| | | | |
|-----|-----------|-----|---|
| kde | ζ_C | ... | ztráta mechanickým nedopalem [-] |
| | b | ... | podíl nespáleného uhlíku odcházející ze zařízení společně s tuhými zbytky (škvára, popílek, úlet) [-] |
| | C^r | ... | Zastoupení uhlíku v surovém stavu v palivu [-] |
| | Q_1 | ... | redukováná výhřevnost paliva [kJ/kg] |

Teplo přivedené v 1 kg paliva

$$Q_1 = Q_i^r + \Delta Q_{POV} + \Delta Q_{pal} + \Delta Q_{sr} \left[\frac{kJ}{kg_{pal}} \right] \quad (28)$$

| | | | |
|-----|------------------|-----|---|
| kde | Q_1 | ... | teplo přivedené v 1 kg paliva [kJ/kg_{pal}] |
| | Q_i^r | ... | Výhřevnost směsi [kJ/kg_{pal}] |
| | ΔQ_{pal} | ... | teplo přivedené přehřevem 1 kg paliva [kJ/kg_{pal}] |
| | ΔQ_{POV} | ... | teplo přivedené přehřevem spalovacího vzduchu [kJ/kg_{pal}] |
| | ΔQ_{sr} | ... | teplo přivedené recirkulací spalin [kJ/kg_{pal}] |

3.2.2.2 Ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalínách)

$$\zeta_{CO} = \frac{(12640 \cdot a_1 \cdot V_{sCO} + 35800 \cdot a_2 \cdot V_{sCH_4})}{Q_1} \quad [-] \quad (29)$$

| | | | |
|-----|--------------|-----|---|
| kde | ζ_{CO} | ... | ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalínách) [-] |
| | Q_1 | ... | teplo přivedené v 1 kg paliva [kJ/kg _{pal}] |
| | a_1 | ... | podíl uhlíku paliva spáleného na CO [kg/kg _{pal}] |
| | a_2 | ... | podíl nespáleného CH ₄ [kg/kg _{pal}] |
| | V_{si} | ... | stechiometrický podíl složek v suchých spalínách [m ³ /kg _{pal}] |

3.2.2.3 Ztráta citelným teplem tuhých zbytků

$$\zeta_f = \frac{A^r \cdot \left(\sum \frac{X_i \cdot \bar{c}_{si} \cdot (t_i - t_0)}{1 - C_i} \right)}{Q_1} \quad [-] \quad (30)$$

| | | | |
|-----|----------------|-----|--|
| kde | ζ_f | ... | ztráta citelným teplem tuhých zbytků [-] |
| | A^r | ... | obsah popela v surovém palivu [-] |
| | X_i | ... | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků [kg/kg _{pal}] |
| | C_i | ... | hmotnostní podíl složky tuhých zbytků [kg/kg _{pal}] |
| | Q_1 | ... | teplo přivedené v 1 kg paliva [kJ/kg _{pal}] |
| | \bar{c}_{si} | ... | střední měrná tepelná kapacita tuhých zbytků [kJ/(K·m ³)] |
| | t_i | ... | teplota tuhých zbytků [°C] |
| | t_0 | ... | vztažná teplot [°C], 20 °C ...nená souvislost s měřenou teplotou okolí |

Střední měrná tepelná kapacita škváry

$$\bar{c}_{ssk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{sk} \quad \left[\frac{kJ}{(m^3 \cdot K)} \right] \quad (31)$$

Střední měrná tepelná kapacita popílku

$$\bar{c}_{spop} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{pop} \quad \left[\frac{kJ}{(m^3 \cdot K)} \right] \quad (32)$$

3.2.2.4 Ztráta citelným teplem spalín (komínová)

Komínová ztráta představuje teplo odcházející z kotle v kouřových plynech, významně ovlivňuje účinnost kotle. Velikost závisí na teplotě spalín a přebytku vzduchu ve spalínách za kotlem. Při zvětšování jejich hodnot ztráta narůstá. Možnost výpočtu dle rovnice:

$$\zeta_k = \frac{V_s \cdot \bar{c}_s \cdot (t_k - t_0)}{Q_1} \quad [-] \quad (33)$$

| | | | |
|-----|---------------|-----|--|
| kde | ζ_k | ... | ztráta komínová (fyzické teplo spalín) [-] |
| | $V_{sp,sk}^v$ | ... | objem spalín skutečných vlhkých [m_N^3/kg_{pal}] |
| | c_s | ... | střední měrná tepelná kapacita spalín [$kJ/(K \cdot m^3)$] |
| | Q_1 | ... | teplo přivedené v 1 kg paliva [kJ/kg_{pal}] |
| | t_k | ... | teplota spalín [$^{\circ}C$] |
| | t_i | ... | vztažná teplot [$^{\circ}C$], 20 $^{\circ}C$...nená souvislost s měřenou teplotou okolí |

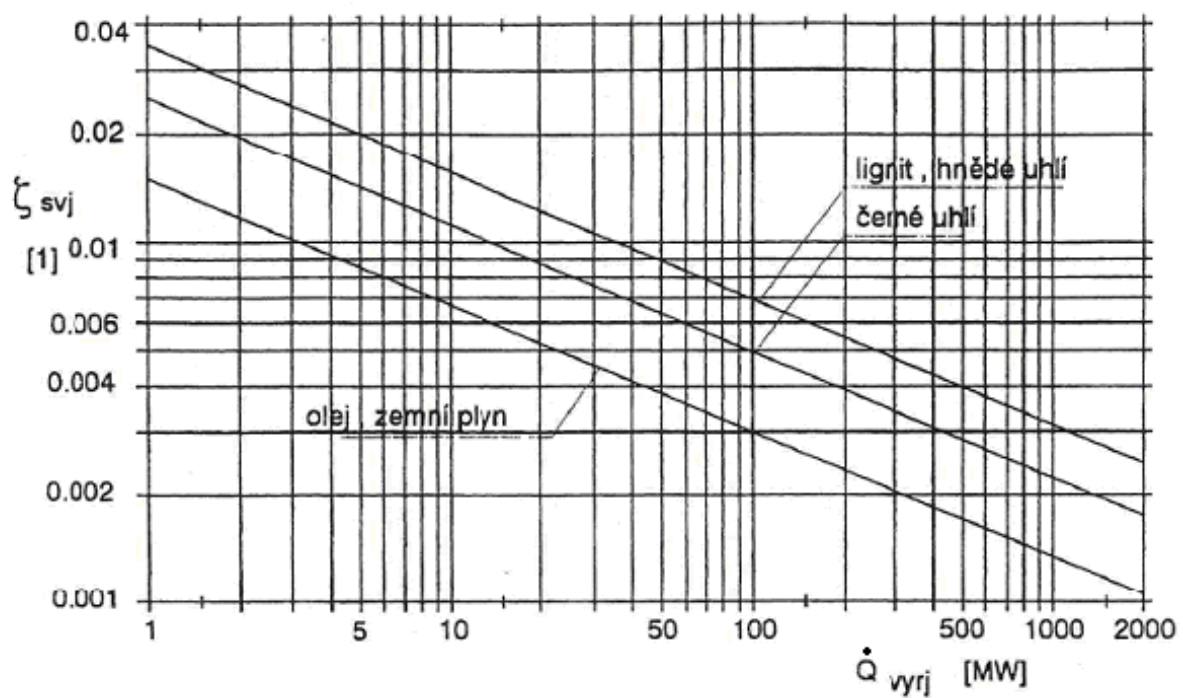
Dle literatury [2] se střední měrná tepelná kapacita spalín může vzít jako průměrná hodnota. Literatura uvádí průměrnou hodnotu na základě intervalu teplot (0 $^{\circ}C$ do 300 $^{\circ}C$) a druhu spalovaného paliva.

3.2.2.5 Ztráta sdílením tepla do okolí

Tato ztráta závisí na kvalitě izolace stěn, způsobu oplechování, velikosti povrchu a výkonu kotle.

$$\zeta_{sv} = \zeta_{svj} \cdot \frac{\dot{Q}_{vyrj}}{\dot{Q}_{vyr}} \quad [-] \quad (34)$$

| | | | |
|-----|---------------|-----|---|
| kde | ζ_{sv} | ... | ztráta sdílením tepla do okolí [-] |
| | ζ_{svj} | ... | ztráta sdílením tepla do okolí při jmenovitém výkonu [-] viz. Graf č. 1 |
| | Q_{vyrj} | ... | jmenovitý výkon kotle [kW] |
| | Q_{vyr} | ... | pracovní výkon kotle [kW] |



Graf č. 1 Ztráta sdílením tepla do okolí [1]

4 Spalovací zkouška pro kombinované spalování energokompostu

Spalovací zkouška se směsí 10 % energokompostu, 70 % černého uhlí a 20 % uhelných kalů byla provedena ve dnech 22. až 24. 4. 2013.

Základní mísení energokompostu, uhlí a uhelných kalů se provedlo provizorně kolovým nakládačem. Paliva se předmíchaly na uhelné skládce v hmotnostním poměru:

- 1 lžíce energokompostu,
- 7 lžic černého uhlí a
- 2 lžíce uhelných kalů.

Palivo bylo dále dávkováno do hlubinného zásobníku, kde došlo k další homogenizaci směsi viz. Obr. č. 7.



Obr. č. 7 Dávkování paliva do hlubinného zásobníku

Při této zkoušce bylo prováděno:

- Seřízení spalovacího procesu s dosažením maximální účinnosti spalování.
- Sledování dopravitelnosti a homogenizace směsi.
- Sledování parního výkonu kotle s cílem dosažení maximálního výkonu dle podmínek sítě centralizovaného zásobování teplem.
- Plynné emise – (CO , NO_x , SO_2 a vztažný kyslík).
- Kontinuální měření nezávislými přístroji po dobu 6 hodin (VŠB).
- Měření plynných emisí HCl , HF , a perzistentních organických polutantů PAU, PCB, PCDD a PCDF.
- Měření emisí těžkých kovů základní skupiny.
- Sledování parametrů přehřáté páry, množství vstříku.
- Odběr vzorků paliva, strusky a popílku.

4.1 Metodiky měření a výběr měřících míst

4.1.1 Metodika měření koncentrace plynných emisí

Měření plynných emisí SO_2 , CO , NO_x , HCl , HF , těžkých kovů a perzistentních organických polutantů bylo provedeno na výstupu z odlučovače za kouřovým ventilátorem kotle viz. Obr. č. 8. Měření bylo provedeno akreditovanými a autorizovanými měřicími skupinami VŠB- TU Ostrava.

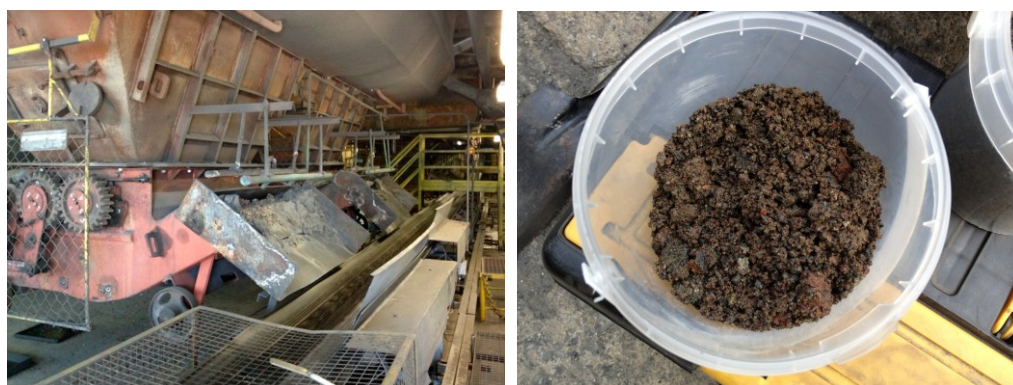


Obr. č. 8 Měřící místo za kouřovým ventilátorem

4.1.2 Vzorky směsi paliva, strusky a popílku

Palivo bylo odebíráno ze skládky paliva a dopravních tras zauhlování – kvartací byly vytvořeny průměrné vzorky po 5 kg. Samostatně byl odebírán vzorek surového uhlí a uhelných kalů a samostatně byl odebírán vzorek energokompostu.

Struska byla odebírána z výsypky drtiče před vstupem na dopravní pás viz. Obr. č. 9.



Obr. č. 9 Výsypka drtiče strusky

Hrubý popílek byl odebrán z komorového podavače dopravní trasy hrubého popílku na pravé straně kotle. Popílek z látkového filtru byl odebírán z dopravní trasy popílku pod látkovým odlučovačem.

Zachycení popílku je řešeno mechanickým a látkovým odlučovačem viz. Obr. č. 10.



Obr. č. 10 Odběr vzorků popílku

Jednotlivé vzorky byly převezeny do laboratoře fa AmpluServis a.s. a byl proveden rozbor vzorků paliv viz. Příloha č. 3.

4.1.3 Údaje provozních měřicích přístrojů

Během zkoušek byly snímány údaje provozních měřicích přístrojů v dohodnutém rozsahu v intervalu 1 minuta (5 minut).

4.2 Průběh měření.

4.2.1 22. 4. 2013

06:35 Příjezd měřicích skupin na Teplárnu Československé armády v Karviné.

07:30 Zahájeno zauhlování zásobníků surového uhlí na kotli K6.

08:00 Odebrány vzorky surového paliva, uhlí, uhelných kalů a kompostu pro energetické využití.

09:00 Zahájeno měření perzistentních organických polutantů. PAU, PCB, PCDD/F.

10:00 Zahájeno kontinuální měření plyných a tuhých emisí.

10:30 Zahájen odběr vzorků popílku a strusky.

18:00 Ukončeno vzorkování strusky a popílku.

19:00 Ukončeno měření emisí při spalovací zkoušce.

19:30 Odjezd pracovníků VŠB-TU Ostrava z TČA.

4.2.2 Základní palivo – směs černého ostravského uhlí granulovaných kalů

Rozbor složení černého uhlí a uhelných kalů OKD, a.s., byl proveden
fa AmplusServis, a.s. viz. Příloha č. 3 a Tab. č. 8

Tab. č. 8 Rozbor černého uhlí a uhelných kalů OKD, a.s.

| | Černé uhlí | Uhelné kaly |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| Spalné teplo Q_s^{daf} | 35,01 MJ/kg | 34,68 MJ/kg |
| Výhřevnost Q_i^r | 24 MJ/kg | 18,89 MJ/kg |
| Obsah vody W^r | 10,6 % | 12,10 % |
| Obsah popela A^r | 17,38 % | 30,83 % |
| Obsah popela A^d | 19,95 % | 35,07 % |
| Prchavá hořlavina V^{daf} | 29,4 % | 27,7 % |
| Prvkový rozbor | | |
| C^r | 61,205 % | 85,522 % |
| C^{daf} | 85,522 % | 84,706 % |
| H^r | 3,639 % | 2,782 % |
| H^{daf} | 5,085 % | 4,874 % |
| N^r | 1,039 % | 0,752 % |
| N^{daf} | 1,452 % | 1,318 % |
| S^r | 0,36 % | 0,53 % |
| S^{daf} | 0,50 % | 0,93 % |
| O^r | 5,324 % | 4,666 % |
| O^{daf} | 7,439 | 8,174 % |
| Melitelnost | 70 - 90 Hg | |
| Granulometrie | 0 – 30 mm | |

4.2.3 Energokompost

Energokompost je dle vyhlášky č. 477/2012 Sb., o stanovené druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla a metanu a o stanovení a uchovávání dokumentů zařazen do kategorie 2, bod n: biologicky rozložitelná část komunálního odpadu včetně vedlejších a zbytkových produktů jejich zpracování a včetně jejich úprav pro přepravu ke konečnému spotřebiteli biomasy.

Rozbor složení energokompostu, a.s., byl proveden firmou AmplusServis, a.s. viz. Příloha č. 3 a Tab. č. 9.

Tab. č. 9 Rozbor energokompostu

| Energokompost | |
|-----------------------------|-------------|
| Spalné teplo Q_{s}^{daf} | 30,08 MJ/kg |
| Výhřevnost Q_i^r | 17,98 MJ/kg |
| Obsah vody W^r | 21,50 % |
| Obsah popela A^r | 14,33 % |
| Obsah popela A^d | 18,25 % |
| Prchavá hořlavina V^{daf} | 49,1 % |
| Prvkový rozbor | |
| C^r | 46,700 % |
| C^{daf} | 72,772 % |
| H^r | 3,632 % |
| H^{daf} | 5,660 % |
| N^r | 1,236 % |
| N^{daf} | 1,925 % |
| S^r | 0,32 % |
| S^{daf} | 0,51 % |
| O^r | 12,281 % |
| O^{daf} | 19,137 |

5 Výpočet účinnosti kotle

Výpočet byl proveden pro dvě směsi:

- spalování černého uhlí (ČU) a uhelného kalu (UK) v poměru 75:25 (zkouška č. 1),
- spalování černého uhlí (ČU), uhelného kalu (UK) a energokompostu (EK) v poměru 70:20:10 (zkouška č. 2).

Pro výpočet jednotlivých účinností kotle byl použit program Excel. Celý výpočet byl proveden podle normy ČSN 07 0302 včetně použitého značení a názvosloví (viz. kapitola 3.2).

5.1 Spalování černého uhlí a uhelného kalu

Potřebné hodnoty pro výpočet jsou uvedené v Tab. č. 10.

Tab. č. 10: Veličiny potřebné pro výpočet nepřímé účinnosti

Tab. č. 1: Veličiny potřebné pro výpočet neprůtoku

| Veličina | Hodnota | | Jednotka |
|---|------------|------------|----------------------|
| Parametry kotle | | | |
| Jmenovitý výkon kotle | 57,00 | | MW |
| Pracovní výkon kotle | 47,25 | | MW |
| Srovnávací teplota vzduchu | 20,00 | | °C |
| Naměřená teplota vzduchu | 18,00 | | °C |
| Pára - Naměřené hodnoty veličin při zkoušce č. 1 | | | |
| Teplota | 446,60 | | °C |
| Tlak | 3,61 | | MPa |
| Množství | 57,70 | | t/h |
| Napájecí voda - Naměřené hodnoty veličin při zkoušce č. 1 | | | |
| Teplota vody | 105,80 | | °C |
| Tlak vody | 5,24 | | MPa |
| Spaliny - Naměřené hodnoty veličin při zkoušce č. 1 | | | |
| Teplota | 137,0 | | °C |
| O ₂ | 8,3 | | % |
| CO | 80 | | ppm |
| SO ₂ | 25 | | ppm |
| Tuhé zbytky – Z rozboru škváry a popílku | | | |
| Nedopal popel | 1,29 | | % |
| Nedopal popílek | 5,26 | | % |
| Veličiny odečtené z normy | | | |
| Zachycení popela | 15,00 | | % |
| Zachycení popílku | 85,00 | | % |
| Teplota popela | 600 | | °C |
| Prvkové složení paliva | Černé uhlí | Uhelný kal | Směs ČU a UK (75/25) |
| Výhřevnost [kJ/kg] | 24000 | 18890 | 22720 |
| Uhlík C ^r [%] | 61,205 | 48,349 | 57,99 |
| Vodík H ^r [%] | 3,639 | 2,782 | 3,42 |
| Síra S ^r [%] | 0,36 | 0,53 | 0,40 |
| Dusík N ^r [%] | 1,039 | 0,752 | 0,97 |
| Kyslík O ^r [%] | 5,324 | 4,666 | 5,16 |
| Popel A ^r [%] | 17,83 | 30,82 | 21,08 |

5.1.1 Skutečné množství vlhkého vzduchu a spalin při spalování ČU a UP

Z látkové bilance se určí energetická bilance pomocí stechiometrických rovnic pro dokonalé spalování (3 až 25):

Výpočet stechiometrického množství kyslíku

$$V_{O_2,t} = \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r + \frac{22,43}{2 \cdot 2} \cdot H_2^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r - \frac{22,39}{32} \cdot O_2^r$$

$$V_{O_2,t}^{uh} = 1,08 + 0,192 + 0,003 - 0,036 = 1,24 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

Množství teoretického vzduchu suchého

$$V_{vz,t} = \frac{V_{O_2,t}}{0,21}$$

$$V_{vz,t} = \frac{1,24}{0,21} = 5,907 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

Množství vzniklých spalin teoretických suchých

$$V_{sp,t}^s = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{sp,t}^s = \frac{22,4}{12,01} \cdot 0,579 + \frac{22,43}{32,06} \cdot 0,004 + \frac{22,4}{28,16} \cdot 0,009 + 0,79 \cdot 5,907 = 5,755 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

Vodní pára ve spalinách

$$V_{H_2O,t}^{sp} = 11,11 \cdot H^r + 1,24 \cdot W^r + (\nu - 1) \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{H_2O,t}^{sp} = 0,379 + 0,124 + 0,059 = 0,612 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

Složky stechiometrických objemů pro dokonalé spalování

- složení suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vCO_2} = 0,0003 \cdot V_{vz,t} = 0,0018 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

$$V_{vN_2} = 0,7809 \cdot V_{vz,t} = 4,6131 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

$$V_{vAr} = 0,0093 \cdot V_{vz,t} = 0,0549 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

- stechiometrické objemy složek v suchých spalinách pro dokonalé spalování

$$V_{sCO_2} = \frac{22,3}{12,01} \cdot C^r = 1,0747 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

$$V_{sSO_2} = \frac{21,9}{32,01} \cdot S^r = 0,0027 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

$$V_{sN_2} = \frac{22,4}{28} \cdot N^r = 0,0078 \text{ m}_N^3 / \text{kg}_{pal}$$

- stechiometrické objemy složek v suchých spalínách pro nedokonalé spalování

$$V_{sCO} = \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r = 1,0820 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{O_2}(C) = \frac{22,4}{12} \cdot C^r = 1,0810 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Parametry spalín při nedokonalém spalování

Ve spalovacích zařízeních se musí palivo spalovat s větším množstvím vzduchu než je vypočítaný teoretický objem. Skutečný objem přivedeného vzduchu se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu α .

Součinitel přebytku vzduchu za parním kotlem

Abychom jej mohli stanovit musíme předpokládat, že podíl b uhlíku neshoří vůbec a odchází ze spalovacího zařízení společně s tuhými zbytky (škvára, popílek, úlet) a podíl a_1 shoří nedokonale na plynnou složku CO.

Výpočet parametrů spalín, které charakterizují kvalitu spalování, se provedl na základě rozboru spalitelné látky ve škváře a popílku, hodnoty jsou uvedeny v Tab. č. 11.

Tab. č. 11: Hmotnostní podíly [1]

| Tuhé zbytky | Škvára [%] | Popílek [%] |
|-------------|------------|-------------|
| X_i | 15 | 85 |
| C_i | 1,29 | 5,26 |

Součinitel přebytku před SOV se vypočítá dle rovnice 10, kde objemový podíl ve spalínách byl naměřen: $\omega_{O_2} = 8,3 \%$ a $\omega_{CO} = 80 \text{ ppm}$ viz. Tab. č. 15.

$$\alpha = \frac{R4 \cdot \omega_{O_2} + R5 \cdot \omega_{O_2} + R5}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{O_2} + R3} = 1,6092[-]$$

$$R1 = -V_{vz,t} \cdot V_{sCO} = -5,907 \cdot 1,0820 = -6,3917[-]$$

$$R2 = V_{vz,t} \cdot (0,5 \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_2) = 5,907 \cdot (0,5 \cdot 1,0810 - 0,2095 \cdot 0,5477)$$

$$R2 = 2,5151[-]$$

$$V_2 = V_{sCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{vz,t} = 1,0820 + 0,5 \cdot 1,0810 - 5,907 = 0,5477 \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]$$

$$R3 = 0,2095 \cdot V_{vz,t} \cdot V_{sCO} = 0,2095 \cdot 5,907 \cdot 1,0820 = 1,3391[-]$$

$$R4 = V_{sCO} \cdot (V_1 + b \cdot V_3) = 1,0820 \cdot (-0,1524 + 0,0179 \cdot 0,0063) = -0,1648[-]$$

$$V_1 = V_{sp,t} - V_{vz,t} = 5,7551 - 5,9074 = -0,1524 \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]$$

$$V_3 = V_{O_2}(C) - V_{sCO_2} = 1,0810 - 1,0747 = 0,0063 \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]$$

$$b = \frac{A^r}{C^r} \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot X_i}{1 - C_i} = 0,3635 \cdot \left(\frac{0,0129 \cdot 0,15}{1 - 0,0129} + \frac{0,0526 \cdot 0,85}{1 - 0,0526} \right) = 0,0179 \frac{kg}{kg_{pal}}$$

$$R5 = V_2 \cdot (b \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_{vz,t}) - 0,5 \cdot V_{O_2}(C) \cdot (V_1 + b \cdot V_3)$$

$$R5 = 0,5477 \cdot (0,0179 \cdot 1,0810 - 0,2095 \cdot 5,907) - 0,5 \cdot 1,0810 \cdot (-0,1524 + 0,0179 \cdot 0,0063)$$

$$R5 = -0,5850 [-]$$

$$R6 = V_{sCO} \cdot (0,2095 \cdot V_{vz,t} - b \cdot V_{O_2}(C)) = 1,0820 \cdot (0,2095 \cdot 5,907 - 0,0179 \cdot 1,0810)$$

$$R6 = 1,3182 [-]$$

$$R7 = V_{vz,t} \cdot (0,2095 \cdot (V_1 + b \cdot V_3) + 0,2095 \cdot V_{vz,t} - b \cdot V_{O_2}(C))$$

$$R7 = 5,907 \cdot (0,2095 \cdot (-0,1524 + 0,0179 \cdot 0,0063) + 0,2095 \cdot 5,907 - 0,0179 \cdot 1,0810)$$

$$R7 = 7,0087 [-]$$

Součinitel přebytku za parním kotlem se vypočítá dle vztahu 21:

$$\alpha_k = \frac{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R4 \cdot \omega_{O_2} + R6) + a_1 \cdot R5 \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3)}{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3) + a_1 \cdot R2 \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3)} = 1,6129 [-]$$

$$a_1 = \frac{R7 \cdot \omega_{CO}}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{CO} + R3} = 0,00069 \frac{kg}{kg_{pal}}$$

Objem spalín vzniklých spálením 1 kg paliva v místě na odchodu z parního kotle

$$V_{sp,sk} = V_{sp,t} + a_1 \cdot (V_{sCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{sCO_2}) + b \cdot (V_{O_2}(C) - V_{sCO_2}) + (\alpha_k - 1) \cdot V_{vz,t}$$

$$V_{sp,sk} = 5,7551 + 0,00069 \cdot (1,0820 + 0,5 \cdot 1,0810 - 1,0747) +$$

$$+ 0,0179 \cdot (1,0810 - 1,0747) + (1,6129 - 1) \cdot 5,907 = 9,376 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Objem vlhkých spalín

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + V_{H_2O,sk}^{sp} = 9,3764 + 0,6705 = 10,0469 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{H_2O}^{sp} = V_{H_2O,t}^{sp} + (\alpha_k - 1) \cdot (v - 1) \cdot V_{vz,t} = 0,612 + (1,6129 - 1) \cdot (1,0162 - 1) \cdot 5,907$$

$$V_{H_2O}^{sp} = 0,6705 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

5.1.2 Nepřímá účinnost parního kotle při spalování ČU a UK

Pro velké kotle spalující uhlí se účinnost zjišťuje nepřímou metodou měřením jednotlivých ztrát. Vychází se z rovnic (26 - 34):

$$\eta = 100 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_f - \zeta_k - \zeta_{sv} - \zeta_{ch}$$

| | | | |
|-----|--------------|-----|--|
| kde | η | ... | účinnost kotle [%] |
| | ζ_C | ... | ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích) [-] |
| | ζ_{CO} | ... | ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalinách) [-] |
| | ζ_f | ... | ztráta citelným teplem tuhých zbytků [-] |
| | ζ_k | ... | ztráta komínová (fyzické teplo spalin) [-] |
| | ζ_{sv} | ... | ztráta sdílením tepla do okolí [-] |

Ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích)

$$\zeta_C = \frac{b \cdot C^r \cdot 32600}{Q_1} = \frac{0,0179 \cdot 0,5799 \cdot 32600}{22720} = 0,01426[-]$$

Teplo přivedené v 1 kg paliva

$$Q_1 = Q_i^r + \Delta Q_{POV} + \Delta Q_{pal} + \Delta Q_{sr} = 22720 + 0 + 0 + 0 = 22720 \frac{kJ}{kg_{pal}}$$

| | | | |
|-----|------------------|-----|---|
| kde | Q_1 | ... | teplo přivedené v 1 kg paliva [kJ/kg _{pal}] |
| | Q_i^r | ... | Výhřevnost směsi ČU a UK [kJ/kg _{pal}] |
| | ΔQ_{pal} | ... | teplo přivedené předehřevem 1 kg paliva [kJ/kg _{pal}] |
| | ΔQ_{POV} | ... | teplo přivedené předehřevem spalovacího vzduchu [kJ/kg _{pal}] |
| | ΔQ_{sr} | ... | teplo přivedené recirkulací spalin [kJ/kg _{pal}] |

Ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalinách)

$$\zeta_{CO} = \frac{(12640 \cdot a_1 \cdot V_{sCO} + 35800 \cdot a_2 \cdot V_{sCH_4})}{Q_1}$$

$$\zeta_{CO} = \frac{12640 \cdot 0,00069 \cdot 1,0820 + 35800 \cdot 0 \cdot 0}{22720} = 0,00042[-]$$

Ztráta citelným teplem tuhých zbytků

$$\zeta_f = \frac{A^r \cdot \left(\sum \frac{X_i \cdot \bar{c}_{si} \cdot (t_i - t_0)}{1 - C_i} \right)}{Q_1}$$

$$\zeta_f = \frac{0,2108 \cdot \left(\frac{0,85 \cdot 1,0132 \cdot (600 - 20)}{1 - 0,0526} + \frac{(0,15 \cdot 0,0489 \cdot (137 - 20))}{1 - 0,0129} \right)}{22720}$$

$$\zeta_f = 0,00159[-]$$

Střední měrná tepelná kapacita škváry

$$\bar{c}_{ssk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{sk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 600$$

$$\bar{c}_{ssk} = 1,0132 \frac{kJ}{(m^3 \cdot K)}$$

Střední měrná tepelná kapacita popílku

$$\bar{c}_{sprop} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{prop} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 137$$

$$\bar{c}_{sprop} = 0,0489 \frac{kJ}{(m^3 \cdot K)}$$

Ztráta komínová

$$\zeta_k = \frac{V_s \cdot \bar{c}_s \cdot (t_k - t_0)}{Q_1} = \frac{10,0469 \cdot 1,38 \cdot (137 - 20)}{22720} = 0,0716[-]$$

Střední měrná tepelná kapacita spalín – hodnota byla brána z literatury [2]: $c_s = 1,38 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$.

Ztráta sdílením tepla do okolí, hodnota ξ_{svj} se odečetla z Graf č. 1

$$\zeta_{sv} = \zeta_{svj} \cdot \frac{\dot{Q}_{vyrj}}{\dot{Q}_{vyr}} = 0,0085 \cdot \frac{57}{47} = 0,0103[-]$$

Vypočtená hodnota nepřímé účinnosti při spoluspalování ČU a UK

$$\eta = 100 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_f - \zeta_k - \zeta_{sv} - \zeta_{ch}$$

$$\eta = 100 - 0,042 - 1,426 - 0,159 - 7,161 - 1,026 = 100 - 9,873 = 90,127\%$$

5.2 Spoluspalování černého uhlí, uhelného kalu a energokompostu

Potřebné hodnoty pro výpočet jsou uvedené v Tab. č. 12.

Tab. č. 12: Veličiny potřebné pro výpočet nepřímé účinnosti

Tab. č. 12: Veličiny potřebné pro výpočet nepřímé účinnosti

| Veličina | Hodnota | | Jednotka | |
|---|------------|------------|---------------|-----------------------------------|
| Parametry kotle | | | | |
| Jmenovitý výkon kotle | 57,00 | | MW | |
| Pracovní výkon kotle | 42,10 | | MW | |
| Srovnávací teplota vzduchu | 20,00 | | °C | |
| Naměřená teplota vzduchu | 18,00 | | °C | |
| Pára - Naměřené hodnoty veličin při zkoušce č. 1 | | | | |
| Teplota | 441,70 | | °C | |
| Tlak | 3,62 | | MPa | |
| Množství | 51,50 | | t/h | |
| Napájecí voda - Naměřené hodnoty veličin při zkoušce č. 1 | | | | |
| Teplota vody | 106,90 | | °C | |
| Tlak vody | 5,22 | | MPa | |
| Spaliny - Naměřené hodnoty veličin při zkoušce č. 1 | | | | |
| Teplota | 133,8 | | °C | |
| O ₂ | 4,3 | | % | |
| CO | 90 | | ppm | |
| SO ₂ | 350 | | ppm | |
| Tuhé zbytky – Z rozboru škváry a popílku | | | | |
| Nedopal popel | 0,16 | | % | |
| Nedopal popílek | 5,03 | | % | |
| Veličiny odečtené z normy | | | | |
| Zachycení popela | 15,00 | | % | |
| Zachycení popílku | 85,00 | | % | |
| Teplota popela | 600 | | °C | |
| Prvkové složení paliva | Černé uhlí | Uhelný kal | Energokompost | Směs (ČU/UK/EK- 70/20/10 %) |
| Výhřevnost [kJ/kg] | 24000 | 18890 | 17980 | 22380 |
| Uhlík C ^r [%] | 61,205 | 48,349 | 46,700 | 57,18 |
| Vodík H ^r [%] | 3,639 | 2,782 | 3,632 | 3,47 |
| Síra S ^r [%] | 0,36 | 0,53 | 0,32 | 0,39 |
| Dusík N ^r [%] | 1,039 | 0,752 | 1,236 | 1,00 |
| Kyslík O ^r [%] | 5,324 | 4,666 | 12,281 | 5,89 |
| Popel A ^r [%] | 17,83 | 30,82 | 14,33 | 20,08 |

5.2.1 Skutečné množství vlhkého vzduchu a spalin při spalování ČU, UP a EK

Z látkové bilance se určí energetická bilance pomocí stechiometrických rovnic (3 až 25):

Výpočet stechiometrického množství kyslíku

$$V_{O_2,t} = \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r + \frac{22,43}{2 \cdot 2} \cdot H_2^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r - \frac{22,39}{32} \cdot O_2^r$$

$$V_{O_2,t}^{uh} = 1,066 + 0,214 + 0,002 - 0,062 = 1,22 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Množství teoretického vzduchu suchého

$$V_{vz,t} = \frac{V_{O_2,t}}{0,21}$$

$$V_{vz,t} = \frac{1,27}{0,21} = 5,824 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Množství vzniklých spalin teoretických suchých

$$V_{sp,t}^s = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{sp,t}^s = \frac{22,4}{12,01} \cdot 0,5718 + \frac{22,43}{32,06} \cdot 0,0039 + \frac{22,4}{28,16} \cdot 0,001 + 0,79 \cdot 5,824 = 5,6742 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Vodní pára ve spalinách

$$V_{H_2O,t}^{sp} = 11,11 \cdot H^r + 1,24 \cdot W^r + (\nu - 1) \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{H_2O,t}^{sp} = 0,389 + 0,151 + 0,0592 = 0,6287 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Složky stechiometrických objemů pro dokonalé spalování

- složení suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vCO_2} = 0,0003 \cdot V_{vz,t} = 0,0017 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{vN_2} = 0,7809 \cdot V_{vz,t} = 4,5479 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{vAr} = 0,0093 \cdot V_{vz,t} = 0,0542 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

- stechiometrické objemy složek v suchých spalinách pro dokonalé spalování

$$V_{sCO_2} = \frac{22,3}{12,01} \cdot C^r = 1,0597 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{sSO_2} = \frac{21,9}{32,01} \cdot S^r = 0,0027 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{sN_2} = \frac{22,4}{28} \cdot N^r = 0,0080 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

- stechiometrické objemy složek v suchých spalinách pro nedokonalé spalování

$$V_{sCO} = \frac{22,4}{12,01} \cdot C^r = 1,0669 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{O_2}(C) = \frac{22,4}{12} \cdot C^r = 1,0659 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

Parametry spalin při nedokonalém spalování

Ve spalovacích zařízeních se musí palivo spalovat s větším množstvím vzduchu než je vypočítaný teoretický objem. Skutečný objem přivedeného vzduchu se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu α .

Součinitel přebytku vzduchu za parním kotlem

Abychom jej mohli stanovit musíme předpokládat, že podíl b uhlíku neshoří vůbec a odchází ze spalovacího zařízení společně s tuhými zbytky (škvára, popílek, úlet) a podíl a_1 shoří nedokonale na plynnou složku CO.

Výpočet parametrů spalin, které charakterizují kvalitu spalování, se provedl na základě rozboru spalitelné látky ve škváře a popílku, hodnoty jsou uvedeny v Tab. č. 13.

Tab. č. 13: Hmotnostní podíly

| Tuhé zbytky | Škvára [%] | Popílek [%] |
|-------------|------------|-------------|
| X_i | 15 | 85 |
| C_i | 0,16 | 5,03 |

Součinitel přebytku před SOV se vypočítá dle rovnice 10, kde objemový podíl ve spalinách byl: $\omega_{O_2} = 4,3 \%$ a $\omega_{CO} = 90 \text{ ppm}$ viz. Tab. č. 15.

$$\alpha = \frac{R4 \cdot \omega_{O_2} + R5 \cdot \omega_{O_2} + R5}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{O_2} + R3} = 1,2331[-]$$

$$R1 = -V_{vz,t} \cdot V_{sCO} = -5,907 \cdot 1,0669 = -6,2133[-]$$

$$R2 = V_{vz,t} \cdot (0,5 \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_2) = 5,824 \cdot (0,5 \cdot 1,0659 - 0,2095 \cdot 0,5401)$$

$$R2 = 2,4449[-]$$

$$V_2 = V_{sCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{vz,t} = 1,0669 + 0,5 \cdot 1,0659 - 5,824 = 0,5401 \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]$$

$$R3 = 0,2095 \cdot V_{vz,t} \cdot V_{sCO} = 0,2095 \cdot 5,824 \cdot 1,0669 = 1,3017[-]$$

$$R4 = V_{sCO} \cdot (V_1 + b \cdot V_3) = 1,0669 \cdot (-0,1497 + 0,0159 \cdot 0,0063) = -0,1596[-]$$

$$V_1 = V_{sp,t} - V_{vz,t} = 5,6742 - 5,8239 = -0,1497 \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]$$

$$V_3 = V_{O_2}(C) - V_{sCO_2} = 1,0659 - 1,0597 = 0,0062 \left[\frac{m_N^3}{kg_{pal}} \right]$$

$$b = \frac{A^r}{C^r} \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot X_i}{1 - C_i} = 0,3512 \cdot \left(\frac{0,0016 \cdot 0,15}{1 - 0,0016} + \frac{0,0503 \cdot 0,85}{1 - 0,0503} \right) = 0,0159 \frac{kg}{kg_{pal}}$$

$$\begin{aligned}
R5 &= V_2 \cdot (b \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_{vz,t}) - 0,5 \cdot V_{O_2}(C) \cdot (V_1 + b \cdot V_3) \\
R5 &= 0,5401 \cdot (0,0159 \cdot 1,0659 - 0,2095 \cdot 5,824) - 0,5 \cdot 1,0659 \cdot (-0,1497 + 0,0159 \cdot 0,0062) \\
R5 &= -0,5701[-]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R6 &= V_{sCO} \cdot (0,2095 \cdot V_{vz,t} - b \cdot V_{O_2}(C)) = 1,0669 \cdot (0,2095 \cdot 5,824 - 0,0159 \cdot 1,0659) \\
R6 &= 1,2836[-]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R7 &= V_{vz,t} \cdot (0,2095 \cdot (V_1 + b \cdot V_3) + 0,2095 \cdot V_{vz,t} - b \cdot V_{O_2}(C)) \\
R7 &= 5,823 \cdot (0,2095 \cdot (-0,1497 + 0,0159 \cdot 0,0062) + 0,2095 \cdot 5,824 - 0,0159 \cdot 1,0659) \\
R7 &= 6,8247[-]
\end{aligned}$$

Součinitel přebytku za parním kotlem se vypočítá dle vztahu 21:

$$\alpha = \frac{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R4 \cdot \omega_{O_2} + R6) + a_1 \cdot R5 \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3)}{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3) + a_1 \cdot R2 \cdot (R1 \cdot \omega_{O_2} + R3)} = 1,2339[-]$$

$$a_1 = \frac{R7 \cdot \omega_{CO}}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{CO} + R3} = 0,00059 \frac{kg}{kg_{pal}}$$

Objem spalín vzniklých spálením 1 kg paliva v místě na odchodu z parního kotle

$$\begin{aligned}
V_{sp,sk} &= V_{sp,t} + a_1 \cdot (V_{sCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{sCO_2}) + b \cdot (V_{O_2}(C) - V_{sCO_2}) + (\alpha_k - 1) \cdot V_{vz,t} \\
V_{sp,sk} &= 5,6742 + 0,00059 \cdot (1,0669 + 0,5 \cdot 1,0659 - 1,0597) + \\
&\quad + 0,0159 \cdot (1,0659 - 1,0597) + (1,2339 - 1) \cdot 5,824 = 7,037 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}
\end{aligned}$$

Objem vlhkých spalín

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + V_{H_2O,sk}^{sp} = 7,037 + 0,6507 = 7,6873 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

$$V_{H_2O}^{sp} = V_{H_2O,t}^{sp} + (\alpha_k - 1) \cdot (\nu - 1) \cdot V_{vz,t}$$

$$V_{H_2O}^{sp} = 0,629 + (1,2339 - 1) \cdot (1,0162 - 1) \cdot 5,824 = 0,6507 \frac{m_N^3}{kg_{pal}}$$

5.2.2 Neřímá účinnost parního kotle při spalování ČU, UK a EK

Pro velké kotle, spalující uhlí se účinnost zjišťuje nepřímou metodou měřením jednotlivých ztrát. Vychází se z rovnic (26 až 34):

$$\eta = 100 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_f - \zeta_k - \zeta_{sv}$$

| | | | |
|-----|--------------|-----|--|
| kde | η | ... | účinnost kotle [%] |
| | ζ_C | ... | ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích) [-] |
| | ζ_{CO} | ... | ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalinách) [-] |
| | ζ_f | ... | ztráta citelným teplem tuhých zbytků [-] |
| | ζ_k | ... | ztráta komínová (fyzické teplo spalin) [-] |
| | ζ_{sv} | ... | ztráta sdílením tepla do okolí [-] |

Ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích)

$$\zeta_C = \frac{b \cdot C^r \cdot 32600}{Q_1} = \frac{0,0159 \cdot 0,5718 \cdot 32600}{22380} = 0,01315[-]$$

Teplo přivedené v 1 kg paliva

$$Q_1 = Q_i^r + \Delta Q_{POV} + \Delta Q_{pal} + \Delta Q_{sr} = 22380 + 0 + 0 + 0 = 22380 \frac{kJ}{kg_{pal}}$$

| | | | |
|-----|------------------|-----|--|
| kde | Q_1 | ... | teplo přivedené v 1 kg paliva [kJ/kg _{pal}] |
| | Q_i^r | ... | Výhřevnost směsi ČU a UK [kJ/kg _{pal}] |
| | ΔQ_{pal} | ... | teplo přivedené předeřevem 1 kg paliva [kJ/kg _{pal}] |
| | ΔQ_{POV} | ... | teplo přivedené předeřevem spalovacího vzduchu [kJ/kg _{pal}] |
| | ΔQ_{sr} | ... | teplo přivedené recirkulací spalin [kJ/kg _{pal}] |

Ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalinách)

$$\zeta_{CO} = \frac{(12640 \cdot a_1 \cdot V_{sCO} + 35800 \cdot a_2 \cdot V_{sCH_4})}{Q_1}$$

$$\zeta_{CO} = \frac{12640 \cdot 0,00059 \cdot 1,0669 + 35800 \cdot 0 \cdot 0}{22380} = 0,00036[-]$$

Ztráta citelným teplem tuhých zbytků

$$\zeta_f = \frac{A^r \cdot \left(\sum \frac{X_i \cdot \bar{c}_{si} \cdot (t_i - t_0)}{1 - C_i} \right)}{Q_1}$$

$$\zeta_f = \frac{0,2008 \cdot \left(\frac{0,85 \cdot 1,0132 \cdot (600 - 20)}{1 - 0,0503} + \frac{(0,15 \cdot 0,0016 \cdot (137 - 20))}{1 - 0,0016} \right)}{22380} = 0,00150[-]$$

Střední měrná tepelná kapacita škváry

$$\bar{c}_{ssk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{sk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 600$$

$$\bar{c}_{ssk} = 1,0132 \frac{kJ}{(m^3 \cdot K)}$$

Střední měrná tepelná kapacita popílku

$$\bar{c}_{spop} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{pop} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 133,8$$

$$\bar{c}_{spop} = 0,0489 \frac{kJ}{(m^3 \cdot K)}$$

Ztráta komínová

$$\zeta_k = \frac{V_s \cdot \bar{c}_s \cdot (t_k - t_0)}{Q_1} = \frac{7,6873 \cdot 1,38 \cdot (133,8 - 20)}{22380} = 0,0548[-]$$

Střední měrná tepelná kapacita spalín – hodnota byla brána z literatury [2] $c_s = 1,38 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$.

Ztráta sdílením tepla do okolí, hodnota ζ_{svj} se odečetla z Graf č. 1 hodnota

$$\zeta_{sv} = \zeta_{svj} \cdot \frac{\dot{Q}_{vyvj}}{\dot{Q}_{vyr}} = 0,0085 \cdot \frac{57}{42} = 0,01151[-]$$

Vypočtená hodnota nepřímé účinnosti při spoluspalování ČU, UK a EK

$$\eta = 100 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_f - \zeta_k - \zeta_{sv}$$

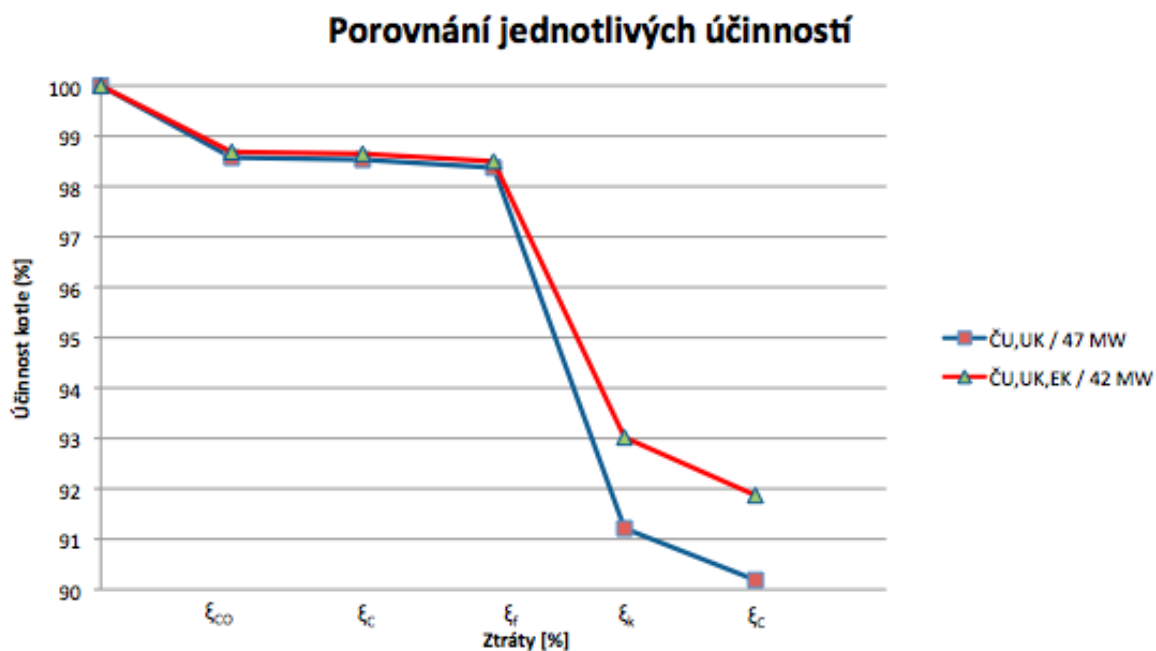
$$\eta = 100 - 0,036 - 1,315 - 0,150 - 5,480 - 1,151 = 100 - 8,140 = 91,860[\%]$$

5.3 Přehled ztrát a účinností kotle

Celkový přehled ztrát a účinností je znázorněn v Tab. č. 14 a pro lepší představu v Graf č. 2

Tab. č. 14 Účinnost kotle

| Směs / výkon kotle | ČU,UK / 47 MW | ČU,UK,EK / 42 MW |
|--|---------------|------------------|
| Ztráty [%] | | |
| Ztráta mechanickým nedopalem (hořlavina v tuhých zbytcích) | 1,426 | 1,315 |
| Ztráta chemickým nedopalem (hořlavina ve spalínách) | 0,042 | 0,036 |
| Ztráta citelným teplem tuhých zbytků | 0,159 | 0,150 |
| Ztráta komínová (fyzické teplo spalin) | 7,160 | 5,480 |
| Ztráta sdílením tepla do okolí | 1,026 | 1,15 |
| Suma ztrát | 9,813 | 8,131 |
| Celková účinnost kotle | 90,13 | 91,86 |



Graf č. 2 Porovnání účinností

6 Výsledky měření

6.1 Výsledky z měření koncentrace plyných směsí

Koncentrace O₂, CO, NO_x a SO₂ na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí dne 22.4.2013 byly zaznamenány do Excelu viz. Příloha č. 6. 30 minutové průměry s intervalem snímání 1 sekunda jsou uvedeny v Tab. č. 15, Graf č. 3. Koncentra těžkých kovů a POPs jsou uvedeny v Příloha č. 4, Příloha č. 5, Příloha č. 7 a Příloha č. 8.

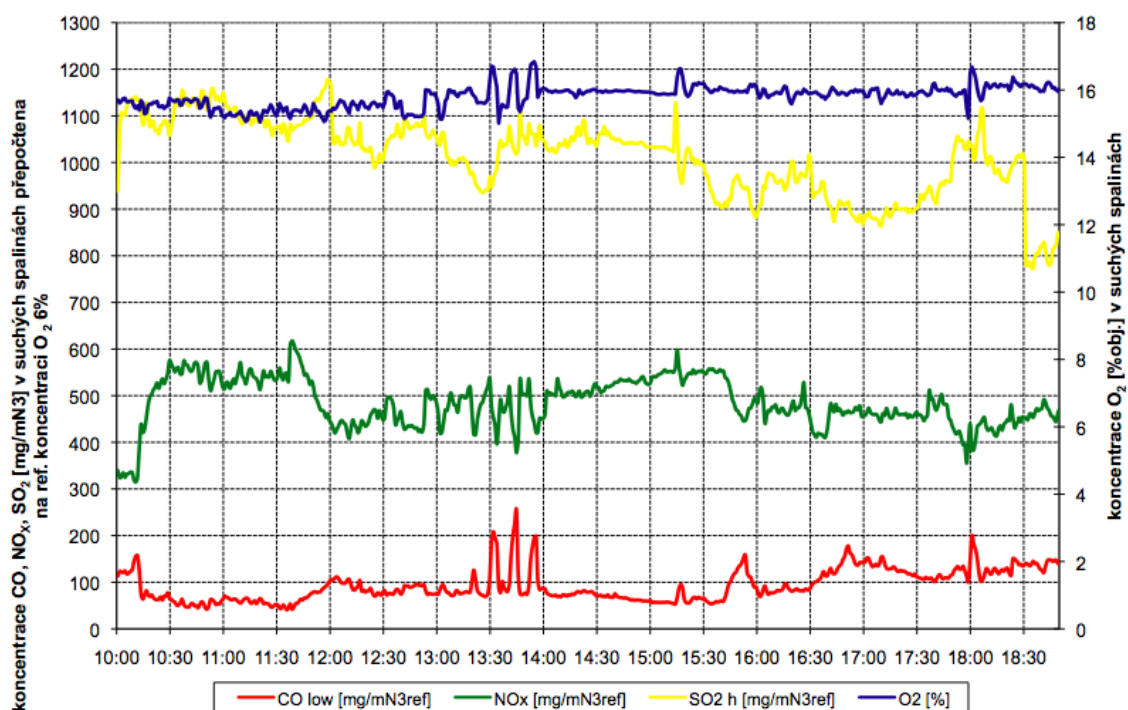
Tab. č. 15 Koncentrace O₂, CO, NO_x a SO₂ na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí

| datum | od | do | O ₂ [%] | CO [mg/m _N ³] ref 6% O ₂ | NO _x [mg/m _N ³] ref 6% O ₂ | SO ₂ [mg/m _N ³] ref 6% O ₂ |
|-------------------|----------|----------|-----------------------|---|--|--|
| 22.4.13 | 10:00:01 | 10:30:00 | 15,6 | 93,3 | 436,6 | 1098,7 |
| | 10:30:01 | 11:00:00 | 15,6 | 54,0 | 549,1 | 1133,3 |
| | 11:00:01 | 11:30:00 | 15,3 | 58,3 | 538,5 | 1093,3 |
| | 11:30:01 | 12:00:00 | 15,4 | 67,4 | 529,4 | 1104,9 |
| | 12:00:01 | 12:30:00 | 15,5 | 89,5 | 441,6 | 1034,5 |
| | 12:30:01 | 13:00:00 | 15,6 | 82,9 | 460,8 | 1067,3 |
| | 13:00:01 | 13:30:00 | 15,8 | 86,2 | 479,0 | 987,4 |
| | 13:30:01 | 14:00:00 | 16,0 | 126,1 | 461,2 | 1042,9 |
| | 14:00:01 | 14:30:00 | 15,9 | 74,7 | 507,2 | 1045,2 |
| | 14:30:01 | 15:00:00 | 16,0 | 65,6 | 526,8 | 1047,4 |
| | 15:00:01 | 15:30:00 | 16,0 | 62,6 | 549,3 | 1019,7 |
| | 15:30:01 | 16:00:00 | 16,0 | 91,4 | 509,1 | 929,8 |
| | 16:00:01 | 16:30:00 | 15,9 | 82,6 | 475,1 | 965,9 |
| | 16:30:01 | 17:00:00 | 15,9 | 132,0 | 451,7 | 907,6 |
| | 17:00:01 | 17:30:00 | 15,9 | 129,9 | 459,7 | 891,9 |
| | 17:30:01 | 18:00:00 | 16,0 | 117,9 | 447,6 | 979,3 |
| | 18:00:01 | 18:30:00 | 16,1 | 131,1 | 436,4 | 1007,5 |
| průměr za zkoušku | | | 15,79 | 91 | 486 | 1021 |

Koncentrace O_2 , CO , NO_x a SO_2 na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí dne 22.4.2013

Měření VŠB-TU Ostrava:

Minutové průměry - Interval snímání 1 sekunda



Graf č. 3 Koncentrace O_2 , CO , NO_x a SO_2 na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí dne 22.4.2013

7 Výpočet dotace při spalování uhlí, uhelných kalů a energokompostu

7.1 Rok 2012

Pro rok 2012 platilo cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011. V tomto dokumentu byly uvedeny ceny příspěvků pro spalování uhlí, uhelných kalů a druhotných energetických zdrojů (dále jen DEZ).

Pro elektřinu z KVET platil příspěvek 45 Kč/MWh ve formě pevné ceny pro KVET využívající obnovitelné zdroje energie. K tomuto příspěvku mohl výrobce uplatnit současně podporu pro elektřinu vyrobenou využíváním DEZ v hodnotě 45 Kč/MWh. Celková dotace činila 90 Kč/MWh.

7.2 Rok 2013

Od roku 2013 platí nová legislativa tj.:

- Zákon č. 165/2012, o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů a
- Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2012.

Dotace pro KVET jsou stanoveny formou zelených bonusů. Z vyhlášky č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů vyplývá, že energokompost je zařazen do kategorie S2. Pro spalování energokompostu a uhlí je vyhláškou stanovena výše příspěvku pouze pro podporu elektřiny nikoliv pro podporu tepla. Dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2012 platí pro elektřinu vyrobenou z KVET následující roční zelené bonusy, které se stávají ze základní sazby a doplňkové sazby:

- pokud úspora primární energie při spalování DEZ činí (10 až 15) % je základní sazba stanovena pro KVET s instalovaným výkonem nad 5 MW 45 Kč/MWh,
- pokud úspora primární energie při spalování DEZ činí více než 15 % je základní sazba stanovena pro KVET s instalovaným výkonem nad 5 MW 170 Kč/MWh,
- doplňková sazba připadá na podíl biomasy k základní sazbě ročního zeleného bonusu, pro kategorii S2 činí hodnota zeleného bonusu 450 Kč/MWh.

Celkový bonus se vypočte dle rovnice (35):

$$C_{zbsp} = E_{kvet} \cdot ZB_{zs} + E_{bkvet} \cdot ZB_{dopl_II} \quad [\text{Kč}] \quad (35)$$

| | | | |
|-----|-----------------|-----|---|
| kde | C_{zbsp} | ... | celková výše podpory KVET při společném spalování [Kč] |
| | E_{kvet} | ... | množství elektřiny vyrobené v KVET [MWh] |
| | ZB_{zs} | ... | základní sazba zeleného bonusu [Kč/MWh] |
| | E_{bkvet} | ... | množství elektřiny vyrobené v KVET připadající na biomasu [MWh] |
| | ZB_{dopl_II} | ... | doplňková sazba II k základní sazbě zeleného bonusu [Kč/MWh] |

7.3 Srovnání dotace pro rok 2012 a 2013

Pro srovnání dotací byly vypočteny příspěvky dle starého i nového cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu. Výpočet (viz. Tab. č. 16 a Příloha č. 12) byl proveden pro období:

- leden – duben 2012,
- leden – duben 2013.

Tab. č. 16 Srovnání dotace dle staré a nové legislativy

| Rok 2012 | Evyr OZE [MWh] | Evyr KVET [MWh] |
|--|---------------------|-----------------|
| Leden 2012 | 2 065,6 | 15090,5 |
| Únor 2012 | 4 323,0 | 430,422 |
| Březen 2012 | 2 153,4 | 14165,923 |
| Duben 2012 | 748,3 | 5935,672 |
| Suma | 2 322,6 | 35622,517 |
| Dotace 2012 dle staré legislativy | 3 206 026 Kč | |
| Dotace 2012 dle nové legislativy | 2 648 172 Kč | |
| Rok 2013 | Evyr OZE [MWh] | Evyr KVET [MWh] |
| leden 2013 | 0 | 15581,422 |
| únor 2013 | 0 | 13861,766 |
| březen 2013 | 0 | 13781,672 |
| duben 2013 | 9,724 | 6754,781 |
| Suma | 9,724 | 49979,641 |
| Dotace 2013 dle staré legislativy | 4 498 167 Kč | |
| Dotace 2013 dle nové legislativy | 2 253 459 Kč | |

Z tabulky vyplývá, že dotace pro spoluspalování biomasy kategorie S2 se směsí s uhlím a uhelnými kaly se snížila. Pro rok 2013 se dotace snížila o více než 50 %. Tato skutečnost může způsobit to, že se velmi omezí spoluspalování biomasy a uhlí a zároveň nebude vznikat poptávka po biomase.

8 Návrh úprav zařízení pro případné trvalé spalování uhlí a energokompostu

Základní mísení energokompostu, uhlí a uhelných kalů se provádělo provizorně kolovým nakládačem a paliva se musely předmíchat na uhelné skládce v určitém hmotnostním poměru. Aby se mohlo kontinuálně černé uhlí a uhelné kaly promíchávat s energokompostem je navrženo míchací centrum viz. Příloha č. 10, Příloha č. 11. Z kamionu bude energokompost vysypán na vyhrnovací šnekovou frézu, kde poputuje na pásovou váhu a šnekový dopravník. Odtud bude energokompost transportován do hlubinného zásobníku.

Závěr

Zadáním diplomové práce bylo provedení spalovací zkoušky a návrh zařízení pro spoluspalování alternativních paliv na bázi biomasy a fosilních pevných paliv. V rámci diplomové práce ve dnech 22. 4 až 26. 4. 2013 byla provedena spalovací zkouška s 10%_{hm.} alternativních paliv k 90%_{hm.} směsi černých uhlí a uhelných kalů.

Cílem spalovacích zkoušek bylo ověření:

- manipulace s kompostem pro energetické využití na vnější uhelné skládce TČA,
- manipulace s kompostem pro energetické využití v prostoru hlubinného zásobníku,
- dopravitelnost směsi stávající pásovou dopravou,
- dopravitelnost směsi ze zásobníků surového uhlí do mlýna,
- funkce mlýnů při mletí směsi uhlí a dřevních pilin,
- dopravní cesty uhelného prášku do kotle,
- funkce kotle při spalování směsi, zejména teploty ve spalovací komoře a rozdělení tepla do jednotlivých ploch,
- emise základních škodlivin a perzistentních organických polutantů z kotle a
- vliv spalování biopaliva na provoz látkového filtru.

S ohledem na výhřevnost směsi černých uhlí a biopaliva se tepelný příkon do kotle pohyboval při spalovací zkoušce 91,96 % v černém uhlí ku 8,035 % v energokompostu.

Doprava kompostu pro energetické využití na uhelnou skládku TČA proběhla velkoprostorovým kamionem s vykládkou pomocí posuvné ložné plochy. Vykládka probíhala bez problémů.

Mísení paliva probíhalo podle předem připraveného mísicího poměru, na volné ploše uhelné skládky. K mísení byl použit kolový nakladač s objemem lžíce 4 m³. Vyhrnování směsi paliva z hlubinného zásobníku probíhalo bez problémů. V průběhu vyhrnování se v hlubinném zásobníku netvořily klenby. Vyhrnování rotačními vynašeči (tzv. propelery) probíhalo plynule bez potíží.

Dopravitelnost na pásu byla velmi dobrá, hmota se nelepila na pás a nezpůsobila zvýšenou prašnost oproti černému uhlí a uhelným kalům. V zásobníku surového uhlí na kotelně probíhalo plnění i vyprazdňování zásobníku bez problémů, bez váznutí a klenbování směsi paliva.

Cizí předměty a větší kusy hmoty nebyly v palivu v průběhu spalovacích zkoušek pozorovány.

Melitelnost biomasy je vždy výrazně horší než melitelnost černých uhlí. Vlákňitý materiál se špatně mele a rychle je vynášen z mlecího prostoru mlýna. Vzhledem k tomu, že na kotli jsou dva mlýny s výkonovou rezervou, probíhalo mletí paliva bez provozních potíží.

Teploty v zásobníku uhelného prášku se pohybovaly na obvyklé úrovni. Nebylo patrné žádné zvýšení teploty a nehrozilo nebezpečí vznícení uhelného prášku.

Při spalování směsi uhlí - energokompost došlo vlivem nižší výhřevnosti směsi paliva k nepatrnému poklesu spalovací teploty. Vlivem vyššího obsahu prchavé hořlaviny v biopalivu zůstala stabilita hoření na původní úrovni jako při spalování čistého uhlí. Rozdělení teplot ve spalovací komoře kotle a vstupním dílu konvekčních svazků zůstalo stejné jako při běžném provozu kotle na černé uhlí.

Obsah spalitelných látek v popílku se při spalovací zkoušce pohyboval na úrovni 5,03 %. Při spalování čistého uhlí byla změřena hodnota 5,23 %. Naměřená hodnota při spoluspalování biomasy odpovídá výsledkům dosahovaných při spalování čistého uhlí. Popílek zachycený v látkovém filtru byl světlé barvy beze stop zuhelnatělých zbytků dřevní hmoty. S ohledem na stejnou jemnost mletí biopaliva jako uhelného prášku nehrozí v žádném případě poškození rukávců látkového filtru. V průběhu spalovacích zkoušek nebylo zjištěno zvýšené zanášení spalínových kanálů ani dodatkových ploch kotle.

Emise tuhých znečišťujících látek TZL (popílku) jsou dány stavem látkového filtru. Průměrné hodnoty se pohybují kolem 24 mg/m^3 při 6% O_2 což je výrazně pod úrovní emisního limitu. S ohledem na nízký obsah popela v biopalivu se kombinovaným spalováním uhlí a biopaliva v kotlech snižují emise TZL.

Emise základních plyných škodlivin CO ; NO_x ; SO_2 odpovídají běžným hodnotám dosahovaným při spalování uhlí. Emise CO se pohybují na úrovni obvyklé pro spalování uhlí. Při spalovací zkoušce byla naměřena průměrná hodnota $15,79 \text{ mg/m}^3$. U emisí NO_x došlo vlivem nižší spalovací teploty k mírnému poklesu, naměřená hodnota je $436,4 \text{ mg.m}^{-3}$. U koncentrace SO_2 byla naměřena hodnota 1021 mg/m^3 . Rozhodně došlo při spalování směsi uhlí – energokompostu k mírnému poklesu tvorby SO_2 . Kombinovaným spalováním uhlí – energokompost lze emise SO_2 omezit.

Při zkoušce byly měřeny emise těžkých kovů základní skupiny Hg menší než $1,15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, pro As byla $0,170 \pm 0,072 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ pro Cd byla $0,102 \pm 0,022 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, a pro Pb byla $0,691 \pm 0,181 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Tyto hodnoty jsou velmi nízké, hlavním nositelem těžkých kovů ve spalínách byla matrice uhlí.

Z hlediska perzistentních organických polutantů v palivu byly sledovány:

PCDD/PCDF: 0,12809 +/- 0,01561 ng TEQ/m³_N.

PCB: 20,514 +/- 4,318 ng/m³_N

PAU: 0,0690 +/- 0,0145 ng/m³_N

Celkově lze konstatovat, že přidáváním energokompostu do uhlí se snižuje tvorbu a emise plyných škodlivin.

Spalovacími zkouškami bylo prokázáno, že v kotli K6 lze bez problému spalovat směs uhlí a energokompostu pro energetické využití ve hmotnostním poměru 10% biomasy a 90% směsi uhlí. Výrazně vyšší podíl energokompostu bude pravděpodobně omezen mlýnským okruhem a horší melitelností vláknitých materiálů. Vlastní spalovací proces by byl schopen bez problémů zvládnout i podíl vyšší.

Svým charakterem spadá energokompost do kategorie „biomasy“, která je vyhláškou č. 477/2012 Sb. definována jako biologicky rozložitelná část komunálního odpadu včetně vedlejších a zbytkových produktů jejich zpracování a včetně jejich úprav pro přepravu ke konečnému spotřebiteli biomasy.

Čistá průmyslovým zpracováním neznečištěná biomasa je považována z hlediska termického využití za účelem výroby tepla a elektrické energie za produkt rovnocenný palivu a není považována za odpad.

Dosavadní pokusy se spalováním čistých energetických plodin a biomasy prokázaly a potvrdily možnost kombinovaného spalování fosilních paliv a přídatných čistých biopaliv ve stávajících energetických spalovacích zařízeních bez nutnosti výraznějších úprav a investic.

Celkově lze spalovací zkoušky s dřevními pilinami na kotli K6 v Teplárně Československé armády Karviná hodnotit jako úspěšné.

Literatura

- [1] ČSN 07 0302. Přejímací zkoušky parních kotlů. Praha: Český normalizační institut, 1996. 56 s.
- [2] IBLER, Zbyněk. Technický průvodce energetika. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, s. 163. ISBN 80-7300-026-1.
- [3] VŠB – TU OSTRAVA, KE. Metodika měření koncentrace plyných směsí. Ostrava, 2011.
- [4] VŠB - TU OSTRAVA, VEC. Vzorkování aerosolu pro stanovení těžkých kovů včetně Hg. Ostrava, 2010.
- [5] VŠB – TU OSTRAVA, VEC. Vzorkování organických perzistentních látek. Ostrava, 2010.
- [6] KOŽUSZNIK, Vladislav. DALKIA ČESKÁ REPUBLIKA a.s. Zpráva o možnostech energetického využití směsného komunálního odpadu (SKO) v Dalkii a.s. Ostrava, 2013.

Seznam příloh

| | |
|--|----|
| Příloha č. 1 Schéma mlýnského okruku K6..... | 53 |
| Příloha č. 3 Certifikát biomasy, kompostu k energetickému využití..... | 54 |
| Příloha č. 4 Rozbor černého uhlí, uhelných kalů a energokompostu | 55 |
| Příloha č. 4 Výsledky měření těžkých kovů | 56 |
| Příloha č. 5 Výsledky měření POPs..... | 57 |
| Příloha č. 8 Výsledky měření koncentrace O ₂ , CO, NO _x a SO ₂ na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí dne 22.4.2013 – Excel: TČA_Emise 22_4_2013_K6(1).xls ... | 58 |
| Příloha č. 7 Výsledky měření těžkých kovů: výsledky_TK_TČA_K6_22-1.4.2013.xls | 58 |
| Příloha č. 8 Výsledky měření POPs – Excel: výsledky_POPs_TČA_K6_22-1.4.2013.xls | 58 |
| Příloha č. 9 Měřené provozní veličiny na kotli v průběhu spalovací zkoušky – Excel: mereni_VSB_K6_4_2013_bio(1).xls | 58 |
| Příloha č. 10 Dispozice doprava biomasy v pdf: Priloha 1_DRA156-1.pdf..... | 58 |
| Příloha č. 11 Míchací centrum biomasy v pdf: Priloha 2_DRA156-2.pdf | 58 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. č. 1 Schéma aparatury pro vzorkování odpadních plynů [4] | 7 |
| Obr. č. 2 Vzorkovací trať [5] | 8 |
| Obr. č. 3 Parní kotek K6 | 8 |
| Obr. č. 4 Mlýn B - kotel K6..... | 10 |
| Obr. č. 5 Anaerobní fermentor [6] | 12 |
| Obr. č. 6 Pracovní prostor fermentoru [6] | 13 |
| Obr. č. 7 Dávkování paliva do hlubinného zásobníku | 24 |
| Obr. č. 8 Měřicí místo za kouřovým ventilátorem..... | 25 |
| Obr. č. 9 Výsypka drtiče strusky..... | 25 |
| Obr. č. 10 Odběr vzorků popílku | 26 |

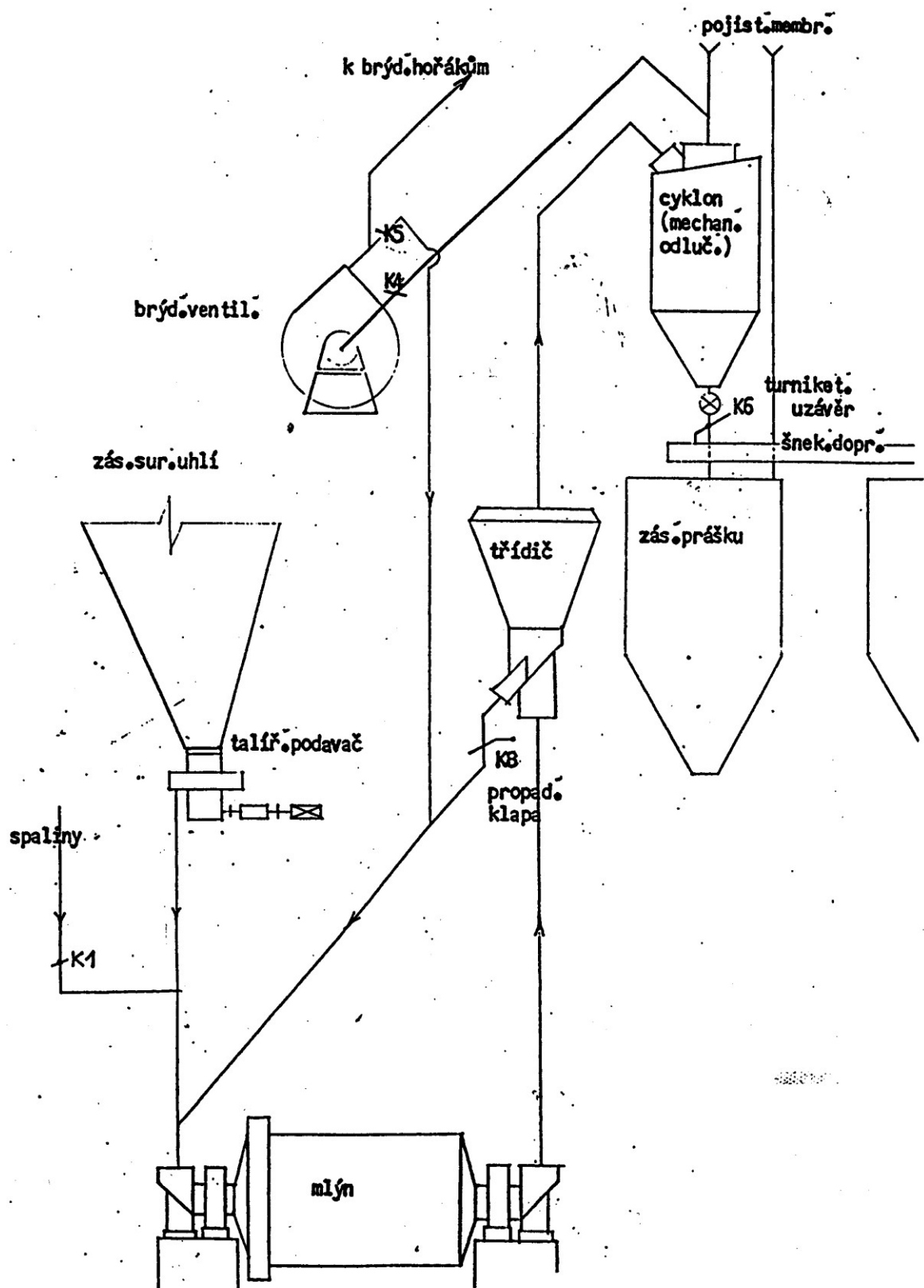
Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. č. 1 Parametry kotle K6 | 9 |
| Tab. č. 2 Parametry mlýna | 10 |
| Tab. č. 3 Vlastnosti energokompostu dle PN (vybrané) | 11 |
| Tab. č. 4 Parametry fermentoru [6]..... | 13 |
| Tab. č. 5 Kvalitativní znaky černého uhlí OKD, a.s. | 13 |
| Tab. č. 6 Kvalitativní znaky uhelných kalů OKD, a.s. | 14 |
| Tab. č. 7 Předpokládané složení směsi pro spalovací zkoušku | 15 |
| Tab. č. 8 Rozbor černého uhlí a uhelných kalů OKD, a.s. | 27 |
| Tab. č. 9 Rozbor energokompostu | 28 |
| Tab. č. 10: Veličiny potřebné pro výpočet nepřímé účinnosti..... | 29 |
| Tab. č. 11: Hmotnostní podíly [1]..... | 31 |
| Tab. č. 12: Veličiny potřebné pro výpočet nepřímé účinnosti..... | 35 |
| Tab. č. 13: Hmotnostní podíly | 37 |
| Tab. č. 14 Účinnost kotle | 41 |
| Tab. č. 15 Koncentrace O ₂ , CO, NO _x a SO ₂ na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí..... | 42 |
| Tab. č. 16 Srovnání dotace dle staré a nové legislativy | 45 |

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf č. 1 Ztráta sdílením tepla do okolí [1] | 23 |
| Graf č. 2 Porovnání účinností | 41 |
| Graf č. 3 Koncentrace O ₂ , CO, NO _x a SO ₂ na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí dne 22.4.2013 | 43 |

Příloha č. 1 Schéma mlýnského okruhu K6



Certifikační orgán na výrobky
Pikartská 1337/7, 716 07 Ostrava – Radvanice
IČ: 45193380

č. VVUÚ-033/H/2012

vydaný

Výrobce: **AGRO-EKO spol. s r.o.**
Technologická 372/2,
708 00 Ostrava – Pustkovec
(obchodní jméno, název, adresa)

na výrobek: **Biomasa, kompost k energetickému využití**
(název, typ, jmenovité hodnoty apod.)

Výše uvedený certifikační orgán tímto certifikátem potvrzuje, že vzorek předmětného výrobku je ve shodě:

– s podnikovou normou na PN AE0020905Z-3, vydanou dňa 19. 8. 2005.

Údaje poskytované uživateli, splňují požadavky na bezpečnou manipulaci s výrobkem dle zákona č. 102/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Výrobek dále splňuje požadavky biopaliva dle vyhlášky č. 482/2005 Sb. (skupina 2, kategorie S2, P2).

Nedílnou součástí tohoto certifikátu je Zpráva o hodnocení č. VVUÚ-016626/2012, ze dne 21. 2. 2012, vydaná VVUÚ, a. s., Certifikačním orgánem na výrobky ve VVUÚ, a. s., Pikartská 1337/7, 716 07 Ostrava – Radvanice.

Tento certifikát se vydává pro účely prohlášení výrobce o shodě výrobku s výše uvedenými technickými předpisy.

Výrobky, na které se vztahuje tento certifikát, podléhají dohledu a kontrole certifikačního orgánu v intervalu 1krát za 2 roky, a to na základě požadavku výrobce.

Držitel certifikátu je povinen dodržovat zásady pro používání certifikátu, které jsou uvedeny na druhé straně (rubu) certifikátu.

Platnosť certifikátu je omezená do 21. 2. 2018.

21. 2. 2012, Ostrava – Radvanice
Datum a místo vydání certifikátu



Ing. Tomáš Dorazil
vedoucí CVČ

2003-09-01

WUO-003-H-2012.doc

Příloha č. 3 Rozbor černého uhlí, uhelných kalů a energokompostu

PROTOKOL O PROVEDENÍ ROZBORU č. P 13-426

Rozbor paliva

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Zákazník: | VŠB - Dr.ing.Čech Bohumír | | | | | | |
| Název vzorku: | TCA - 22.4.2013 | | | | | | |
| Datum přijetí vzorku: | 24.4.13 | | | | | | |
| Výsledky rozboru: | | | | | | | |
| Použité metody: | SOP č.P 01 (ČSN 44 1377) | SOP č.P 06 (ASTM D 7582) | SOP č.P 06 (ASTM D 7582) | SOP č.P 05 (ČSN ISO 1928) | SOP č.P 05 (ČSN ISO 1928) | SOP č.P 03 (ČSN ISO 562) | |
| Číslo vzorku: | Označení vzorku | W_i (%) Voda velkárná původní | A_i (%) Popel původní | A^* (%) Popel bezvodý | $Q_{s,HR}$ (MJ/kg) Spalné teplo v hořlavíně | Q_i (MJ/kg) Výhřevnost původní | V^{HR} (%) Prchavá hořlavina |
| 13/2533 | surrové uhlí | 10,60 | 17,83 | 19,95 | 35,01 | 24,00 | 29,4 |
| 13/2534 | kalý | 12,10 | 30,82 | 35,07 | 34,68 | 18,89 | 27,7 |
| Použité metody: | SOP č.P 01 (ČSN EN 14774-2) | SOP č.P 02 (ČSN EN 14775) | SOP č.P 02 (ČSN EN 14775) | SOP č.P 05 (ČSN EN 14918) | SOP č.P 05 (ČSN EN 14918) | SOP č.P 03 (ČSN EN 15148) | |
| Číslo vzorku: | Označení vzorku | W_i (%) Voda velkárná původní | A_i (%) Popel původní | A^* (%) Popel bezvodý | $Q_{s,HR}$ (MJ/kg) Spalné teplo v hořlavíně | Q_i (MJ/kg) Výhřevnost původní | V^{HR} (%) Prchavá hořlavina |
| 13/2535 | Kompost | 21,50 | 14,33 | 18,25 | 30,08 | 17,98 | 49,1 |
| Použité metody: | SOP č.P 12 (ČSN ISO 29541) | SOP č.P 12 (ČSN ISO 29541) | SOP č.P 12 (ČSN ISO 29541) | SOP č.P 12 (ČSN ISO 29541) | SOP č.P 12 (ČSN ISO 29541) | SOP č.P 12 (ČSN ISO 29541) | |
| Číslo vzorku: | Označení vzorku | H (%) Dusík původní | H^{HR} (%) Dusík v hořlavíně | H^* (%) Voda původní | H^{HR} (%) Voda v hořlavíně | C (%) Uhlík původní | C^{HR} (%) Uhlík v hořlavíně |
| 13/2533 | surrové uhlí | 1,039 | 1,452 | 3,639 | 5,085 | 61,205 | 85,522 |
| 13/2534 | kalý | 0,752 | 1,318 | 2,782 | 4,874 | 48,349 | 84,706 |
| Použité metody: | SOP č.P 12 (ČSN EN 15104) | SOP č.P 12 (ČSN EN 15104) | SOP č.P 12 (ČSN EN 15104) | SOP č.P 12 (ČSN EN 15104) | SOP č.P 12 (ČSN EN 15104) | SOP č.P 12 (ČSN EN 15104) | |
| Číslo vzorku: | Označení vzorku | H (%) Dusík původní | H^{HR} (%) Dusík v hořlavíně | H^* (%) Voda původní | H^{HR} (%) Voda v hořlavíně | C (%) Uhlík původní | C^{HR} (%) Uhlík v hořlavíně |
| 13/2535 | Kompost | 1,236 | 1,925 | 3,632 | 5,660 | 46,700 | 72,772 |
| Použité metody: | SOP č.P 07 (ČSN ISO 19579) | SOP č.P 07 (ČSN ISO 19579) | Hodnota je dopočtena | Hodnota je dopočtena | | | |
| Číslo vzorku: | Označení vzorku | S (%) Síra původní | S^{HR} (%) Síra v hořlavíně | $*O_2$ (%) Kyslík původní | $*O_2^{HR}$ (%) Kyslík v hořlavíně | | |
| 13/2533 | surrové uhlí | 0,36 | 0,50 | 5,324 | 7,439 | | |
| 13/2534 | kalý | 0,53 | 0,93 | 4,666 | 8,174 | | |
| 13/2535 | Kompost | 0,32 | 0,51 | 12,281 | 19,137 | | |
| Použité metody: | SOP č.P 10 | | Použité metody: | | SOP č.P 10 | | |
| Číslo vzorku | Označení vzorku | * Spalitelné látky (%) | Číslo vzorku | Označení vzorku | * Spalitelné látky (%) | | |
| 13/U/1028 | poplík hrubý A | 4,69 | 13/U/1051 | Ševára A | 1,29 | | |
| 13/U/1029 | poplík hrubý B | 3,97 | 13/U/1052 | Ševára B | 0,16 | | |
| 13/U/1030 | poplík jemný A | 5,82 | | | | | |
| 13/U/1031 | poplík jemný B | 6,08 | | | | | |
| * Neakreditovaný rozbor | | | | | | | |
| Datum provedení rozboru: | 24.-26.2.2013 | | | | | | |
| Datum vystavení protokolu: | 26.4.13 | | | | | | |
| Protokol vystavil: | Bilejšík Soňa | | | | | | |

Příloha č. 4 Výsledky měření těžkých kovů

| | | | | | |
|---|---------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|
| Místo měření | Teplárna ČA Karviná | | | | |
| Zařízení | kotel K6 | | | | |
| Označení odběrového místa | za TF | | | | |
| Datum | 22.4.13 | | | | |
| Označení odběru | TK - 1 | TK - 2 | TK - 3 | Střední hodnota | |
| Označení vzorků | filtr | VZ 448 /13 | VZ 449 /13 | VZ 450 /13 | |
| | roztok | VZ 452 /13 | VZ 453,454 /13 | VZ 455 /13 | |
| Čas začátku odběru | | 8:45 | 12:26 | 15:46 | |
| Čas konce odběru | | 9:33 | 13:14 | 16:34 | |
| Koncentrace těžkého kovu v suchém plynu při normálních podmínkách a referenčním kyslíku = 6 % | Hg | < 0,978 | < 1,24 | < 1,26 | < 1,15 |
| | As | 0,268 ± 0,087 | 0,128 ± 0,065 | 0,113 ± 0,064 | 0,170 ± 0,072 |
| | Cd | 0,154 ± 0,033 | 0,062 ± 0,014 | 0,090 ± 0,020 | 0,102 ± 0,022 |
| | Pb | 0,739 ± 0,186 | 0,460 ± 0,133 | 0,873 ± 0,225 | 0,691 ± 0,181 |

Příloha č. 5 Výsledky měření POPs

| | | | | | | | |
|--|---------------------------|------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Místo měření | Teplárna ČA Karviná | | | | | | |
| Zařízení | kotel K6 | | | | | | |
| Označení odběrového místa | za TF | | | | | | |
| Datum | 22.4.13 | | | | | | |
| Označení odběru | - | POPs 1 | POPs 2 | POPs 3 | Střední hodnota | | |
| Označení vzorku | - | VZ 435 - 438 /13 | VZ 439 - 442 /13 | VZ 443 - 446 /13 | | | |
| Čas začátku odběru | hod. | 9:49 | 13:22 | 16:42 | | | |
| Čas konce odběru | hod. | 12:05 | 15:32 | 18:54 | | | |
| Koncentrace v suchém plynu při normálních podmínkách a referenčním kyslíku = 6 % | PCDD / PCDF PCB PAH | c _{SN} | ng TEQ.m ⁻³ _N | 0,1081545 ± 0,013681 | 0,13503 ± 0,01629 | 0,14179 ± 0,01693 | 0,12809 ± 0,01561 |
| | | | ng.m ⁻³ _N | 2,587 ± 0,616 | 52,321 ± 11,006 | 7,660 ± 1,544 | 20,514 ± 4,318 |
| | | | μg.m ⁻³ _N | 0,0423 ± 0,0115 | 0,0996 ± 0,0176 | 0,0664 ± 0,0146 | 0,0690 ± 0,0145 |

Příloha č. 6 Výsledky měření koncentrace O₂, CO, NO_x a SO₂ na výstupu z kotle K6 v TČA v průběhu měření emisí dne 22.4.2013 – Excel: TČA_Emise 22_4_2013_K6(1).xls
Příloha č. 7 Výsledky měření těžkých kovů: výsledky_TK_TČA_K6_22-1.4.2013.xls
Příloha č. 8 Výsledky měření POPs – Excel: výsledky_POPs_TČA_K6_22-1.4.2013.xls
Příloha č. 9 Měřené provozní veličiny na kotli v průběhu spalovací zkoušky – Excel: mereni_VSB_K6_4_2013_bio(1).xls
Příloha č. 10 Dispozice doprava biomasy v pdf: Priloha 1_DRA156-1.pdf
Příloha č. 11 Míchací centrum biomasy v pdf: Priloha 2_DRA156-2.pdf
Příloha č. 12 Ucinnost- podklady TCA_2012_13.xls